

University of Groningen

Over binaurale selectieve versterking en de verstaanbaarheid van spraak

Taselaar, Marinus

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1959

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Taselaar, M. (1959). *Over binaurale selectieve versterking en de verstaanbaarheid van spraak*. [, Rijksuniversiteit Groningen]. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

OVER BINAURALE
SELECTIEVE VERSTERKING EN DE
VERSTAANBAARHEID VAN SPRAAK

M. TASELAAR

OVER BINAURALE SELECTIEVE VERSTERKING
EN DE VERSTAANBAARHEID VAN SPRAAK

STELLINGEN

I

In de scholen voor gehoorgestoorde kinderen dient meer aandacht besteed te worden aan stereophonische versterking.

II

Bij de toepassing van versterking in gevallen van slechthorendheid worde meer rekening gehouden met de spreiding van de discriminatie langs de toonschaal.

III

Het is waarschijnlijk, dat het ontstaan van trommelstokvingers bij longaandoeningen samenhangt met de aanwezigheid van arterio-veneuze shunts in de longen.

(HALL - The Lancet I, 1959, 750)

IV

Bij de behandeling van patienten met een chronisch nierlijden dient men rekening te houden met een verhoogde minimale eiwitbehoefte.

V

Bij habituele abortus verdient het aanbeveling een hystero-gram te maken ter uitsluiting van congenitale uterusafwijkingen.

VI

Wanneer een hypochrome anaemie bij hernia hiatus oesophagi onvoldoende reageert op orale ijzertoe-diening verdient het overweging tevens intrinsic factor toe te dienen.

(MICHAELIDES c.s. - The Lancet I, 1959, 552).

VII

Een verhoogde haemoglobine-concentratie bij overdragen kinderen is zonder meer niet te beschouwen als een compensatie voor een verminderde zuurstofvoorziening gedurende de laatste zwangerschapsweken.

VIII

De methode om longmetastasen te behandelen met een röntgenbestraling in hoge dosering, gevolgd door autotransfusie van beenmerg, is onvoldoende gefundeerd.

(NEWTON c.s. - Brit. Med. Journ. 1959, 562).

IX

Het is noodzakelijk, dat de Koninklijke Nederlandse Maatschappij tot bevordering der Geneeskunst spoedig haar standpunt bepaald ten aanzien van het probleem der artificiële inseminatie.

STELLINGEN BEHORENDE BIJ
M. TASELAAR
OVER BINAURALE SELECTIEVE VERSTERKING
EN DE VERSTAANBAARHEID VAN SPRAAK
GRONINGEN 1959

RIJKSUNIVERSITEIT TE GRONINGEN

OVER BINAURALE
SELECTIEVE VERSTERKING EN DE
VERSTAANBAARHEID VAN SPRAAK

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE

AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE GRONINGEN

OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS MR H. J. SCHELTEMA,

HOOGLERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID,

TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE

TE VERDEDIGEN OP WOENSDAG 17 JUNI 1959

DES NAMIDDAGS TE 3 UUR PRECIES

DOOR

MARINUS TASELAAR

GEBOREN TE ENSCHEDE

1959

DIJKSTRA'S DRUKKERIJ N.V., V/H BOEKDRUKKERIJ GEBROEDERS HOITSEMA
GRONINGEN

PROMOTOR: PROF. DR H. C. HUIZING

Aan mijn vrouw

De aanschaffing van een gedeelte van de in dit proefschrift beschreven apparatuur werd mogelijk gemaakt door een subsidie van de Gezondheidsorganisatie T.N.O.

VOORWOORD

Bij de voltooiing van dit proefschrift wil ik mijn dank betuigen aan U, Hoogleraren, Oud-Hoogleraren, Lectoren en Privaat-Docenten van de Medische Faculteit der Rijks-Universiteit te Groningen voor het genoten onderricht.

Hooggeleerde HUIZING, hooggeachte Promotor. U ben ik zeer veel dank verschuldigd voor de leiding, die U aan dit onderzoek heeft gegeven. Uw grote kennis en helder inzicht in de vele problemen van de Audiologische Wetenschap dwingen grote bewondering af. De wijze, waarop U mij steeds met Uw hulp terzijde stond, is voor mij een voortdurende stimulans geweest. Hiervoor ben ik U zeer erkentelijk.

Hooggeleerde HUIZINGA, hooggeachte Leermeester. Ik beschouw het als een voorrecht Uw leerling te mogen zijn. Van Uw persoonlijkheid, Uw liefde voor de Keel-Neus-Oorheelkunde en Uw bereidheid anderen te laten delen in Uw rijke kennis en ervaring gaat een grote inspiratie uit. Zeer erkentelijk ben ik U voor het vele, dat ik van U heb mogen leren. Om daarnaast steeds Uw warme persoonlijke belangstelling te mogen ondervinden stemt tot bijzondere dankbaarheid.

Mede-Assistenten. Uw prettige samenwerking zal voor mij steeds een aangename herinnering zijn.

Mejuffrouw VAN GROENINGEN en Mejuffrouw JORRITSMA dank ik voor hun assistentie bij het audiometrisch onderzoek.

De Heer FREIJE wil ik in het bijzonder dank zeggen voor zijn voortdurende hulp de technische moeilijkheden te overwinnen.

Mijn dank gaat ook uit naar de Heren VOLCKMANN en KUITERT voor hun grote hulpvaardigheid.

Mejuffrouw SEESINK, Mejuffrouw MARTINI en Mejuffrouw DE GROOT ben ik dankbaar voor de vlotte en nauwgezette wijze, waarop zij het typewerk hebben verzorgd.

Tenslotte gaat mijn dank uit naar allen, die op de een of andere wijze hebben meegewerkt aan het tot stand komen van dit proefschrift.

INHOUD

VERKLARING VAN GEBRUIKTE TERMEN	1
HOOFDSTUK I	
Probleemstelling en inleiding	5
HOOFDSTUK II	
Binauraal horen en de verstaanbaarheid van spraak . . .	14
HOOFDSTUK III	
Spraakverstaanbaarheid bij perceptiedoofheid	19
HOOFDSTUK IV	
Fysisch-acoustische eigenschappen van spraak	27
Inleiding	27
Fysisch-acoustische eigenschappen	28
Energiebalans	33
Maskering	36
De invloed van de hoordrempel	39
HOOFDSTUK V	
Eigen onderzoek	43
Inleiding	43
Doel van het onderzoek	46
Gebruikte apparatuur en testmateriaal	48
Gang van zaken bij het onderzoek	53
Resultaten van het onderzoek	54
HOOFDSTUK VI	
Slotbeschouwing.	64
SAMENVATTING	70
SUMMARY	73
LITERATUURLIJST.	76
BIJLAGE	80

VERKLARING VAN EEN AANTAL IN DIT PROEFSCHRIFT GEBRUIKTE TERMEN

Standaardniveau: Het geluidsintensiteitsniveau van 10^{-16} Watt-cm². Ten opzichte van dit niveau (reference-level) wordt de geluidsintensiteit in decibel-eenheden uitgedrukt.

Drempelniveau: Het intensiteitsniveau, waarop 50 % van de prikkels, gelijkelijk aangeboden bij stijgende of dalende intensiteitswaarden, wordt waargenomen. Bij normaal-horenden komt het drempelniveau bij 1000 Hz overeen met het standaardniveau.

Luidheid: De sterkte van de sensatie van een op een bepaald intensiteitsniveau aangeboden geluidsprikkel.

Hoordrempel: Het drempelniveau, waarop een geluidsprikkel juist wordt waargenomen, zonder dat de aard van het geluid onderkend wordt.

Oorspan: De logaritmische verhouding van pijndrempel en hoordrempel. De oorspan wordt uitgedrukt in bel of decibel.

Spraakspan: Dat deel van de oorspan, waarbinnen de geluidsintensiteiten van de fluister- en de conversatiespraak vallen.

Phoneem: Op zichzelf staande spraakklank.

Articulatie: Het begrip articulatie wordt gebruikt in:

- a. phonetische zin.
- b. acoustische zin.

Phonetische definitie: Het geheel der spraakbewegingen, waardoor de woorden als samenstelling van klinkers en medeklinkers worden gevormd.

Acoustische definitie: Het subjectieve herkenningsvermogen van spraakklanken of op zichzelf staande woorden bij perceptie door het normale of pathologische gehoororgaan.

Verstaanvaardigheid: De vaardigheid of het gemak waarmee in het cerebrum, aan de hand van de door het perifere gehoororgaan afgegeven zenuwimpulsen, de hoorgewaarwording tot stand komt.

Articulatiepercentage: Het percentage goed verstane woorden van een woordlijst op een bepaald intensiteitsniveau.

Articulatiecurve: De grafiek, die het verband aangeeft tussen het articulatiepercentage en de aangeboden geluidsintensiteit.

Discriminatieverlies: Het percentage woorden van een woordlijst, dat bij optimum intensiteit van de aangeboden spraak, niet goed kan worden nagesproken.

Spraakgehoordrempel: Het in decibel aangegeven spraakintensiteitsniveau, waarop het gemakkelijkst verstaanbare woord van een woordlijst juist goed wordt nagesproken. Dit niveau valt samen met het voetpunt van de articulatiecurve.

Spraakverstaanbaarheidsdrempel: Het in decibel aangegeven intensiteitsniveau, waarop 50 % van de woorden van een woordlijst goed wordt nagesproken.

Blanke ruis: Een geluid, dat alle hoorbare frequenties bevat en waarbij de geluidsenergie gelijkmatig over de frequentieschaal is verdeeld.

Binauraal-ruimtelijk horen: (stereophonisch horen) Het natuurlijke horen door middel van twee gehoororganen.

Bij de rechtstreekse aanbieding van geluid aan één of beide oren door middel van koptelefoons kunnen de volgende vormen van aanbieding onderscheiden worden:

Monaurale aanbieding: De stimulatie van één gehoororgaan.

Binaurale aanbieding: De gelijktijdige stimulatie van beide gehoororganen met dezelfde geluidsprikkel.

Dichotische aanbieding: De gelijktijdige stimulatie van beide gehoororganen, doch elk gehoororgaan door een verschillende prikkel.

Stereophonische aanbieding: De stimulatie van beide gehoororganen, waarbij de geluidsprikkels aan beide oren dezelfde intensiteits-, phase- en tijdsverschillen vertonen, welke bij het natuurlijke horen aan de beide oren zou zijn opgetreden.

Hoofdstuk I

PROBLEEMSTELLING EN INLEIDING

PROBLEEMSTELLING

In dit proefschrift zullen enkele facetten van het probleem van de verstaanbaarheid van spraak bij slechthorendheid besproken worden.

Het eminente belang van het spraakdiscriminatievermogen van het menselijk gehoororgaan is zonder meer duidelijk, wanneer men bedenkt dat voor de mens de spraak het communicatiemiddel bij uitstek is. De problemen rond deze phylogenetisch hoge functie zijn echter zó talrijk, dat alleen onderzoek van verschillende zijden een beter inzicht hierin heeft gegeven en in de toekomst nog zal kunnen verschaffen.

Wanneer men de spraakpatronen fysisch bezie, beseft men aan welke hoge eisen het gehoororgaan moet voldoen om de zeer samengestelde, van moment tot moment wisselende, geluidstrillingen te percipiëren en deze aan de gevormde zenuwimpulsen te discrimineren.

Het is dan ook gelukkig, dat de spraak in het algemeen een belangrijke overmaat aan informatie bezit, zodat bij een lichte stoornis in de gehoorfunctie of bij een gedeeltelijke verminking van de spraak, onverschillig van welke aard, de verstaanbaarheid daardoor niet direct in het gedrang komt.

Bij het normale horen hebben wij dagelijks te maken met gedeeltelijk, hetzij direct of indirect, vervormde spraak, respectievelijk in het geval dat gebruik gemaakt wordt van één van de steeds meer toegepaste technische communicatiemiddelen en in het geval van storing door achtergrondlawaai.

De uiteindelijke waarde van de informatie-inhoud van de aan het oor aangeboden spraak wordt echter mede bepaald door de eigenschappen van het perifere gehoororgaan en vooral ook door de op grond van vroegere ervaring verkregen cerebrale impressies.

Het is bekend, dat in gevallen van perceptiedoofheid in het perifere gedeelte van het gehoororgaan een aantal pathologische eigenschappen kunnen optreden, die de informatie-inhoud van gesproken taal belangrijk reduceren.

Hiervoor moet niet in de eerste plaats de bestaande hoordrempelverhoging verantwoordelijk gesteld worden, maar veeleer een in het organisme optredende vervorming van de spraakpatronen, de zogenaamde subjectieve vervorming. Dit verklaart waarom toepassing van versterking in vele gevallen van perceptiedoofheid een minder bevredigend resultaat heeft dan men zou verwachten. Dit geldt in het bijzonder bij eerste aanbieding van versterkte spraak.

Echter is de verwachting gewettigd dat, wanneer meer dan tot nu toe het geval is, bij de toe te passen versterking rekening zou kunnen worden gehouden met deze voor de verstaanbaarheid ongunstige factoren van organische oorsprong, in bepaalde gevallen betere resultaten bereikt zouden kunnen worden.

In dit proefschrift willen wij dan ook de invloed van deze subjectieve vervorming van de spraakklanken op de verstaanbaarheid nader bespreken en wel in het bijzonder onder de omstandigheden waarin deze zich voordoet in de zo veelvuldig vóórkomende gevallen van *perceptiedoofheid* met een zogenaamd *aflopend drempelaudiogram*. Daarbij zal de functie van de twee hoofdkwaliteiten van de spraak, te weten de *intensiteit* en de *onderscheidbaarheid* in het oog gehouden worden.

Wij zullen onze aandacht daarbij in het bijzonder richten op de gemeenschappelijke bijdrage, die door spraakbanden uit verschillende delen van de toonschaal, *langs binaurale weg* tot het spraakverstaan geleverd kan worden.

INLEIDING

De grote vorderingen op het gebied der techniek in de laatste decennia hebben het mogelijk gemaakt de slechthorende op steeds betere wijze te helpen zijn contact met de buitenwereld in acoustische zin te herstellen.

De wijze waarop dit geschiedde, werd, behalve door de moderne operatie-methoden, bepaald door de mogelijkheden die de techniek bood en door de kennis van de eigenschappen van het normale en pathologische gehoororgaan vóórdien. Zo kon (aanvankelijk) van

een aanpassing op grond van de aard van de slechthorendheid en de eigenschappen van het gestoorde gehoororgaan geen sprake zijn.

Na de ontwikkeling van de eerste elektrische hoortoestellen omstreeks de eeuwwisseling heeft ZWAARDEMAKER in 1919 het principe van de individuele aanpassing voorgesteld. Hij sprak van de zogenaamde „hoorbril”, waarmee hij niet alleen een herstel van de gehoorfunctie in kwantitatieve zin beoogde, maar ook in kwalitatieve zin, namelijk door versterking van dat gedeelte van het frequentiespectrum, waarin de hoordrempel het meest verhoogd was.

In 1930 werd door PHILIPS voor het eerst een apparaat geconstrueerd waarbij, door middel van diverse, verwisselbare, condensatoren, de versterkingskarakteristiek aan de aard van de gehoorafwijking zou moeten worden aangepast. De resultaten daarmee waren echter niet van die aard dat het hoortoestel in de handel gebracht kon worden. Nu wij een en ander omtrent de luidheidsfunctie van het gehoororgaan kennen, weten wij dat het stemvorkonderzoek toentertijd niet voor dat doel toereikend was, en de fysische eigenschappen van de hoorapparaten, in het bijzonder van de daarbij gebruikte telefoon en microfoon, evenmin.

De vervaardiging van miniatuur radiobuizen in de laatste wereldoorlog betekende een grote vooruitgang in de ontwikkeling van draagbare hoortoestellen van het zogenaamde radiotype. De kwaliteit van de geluidswaergave kon worden opgevoerd, doordat betere microfoons en telefoons ter beschikking kwamen. Door verdere technische verbeteringen zoals automatische volumecontrole en filterschakelingen zijn thans apparaten beschikbaar, welke veel meer mogelijkheden van aanpassing bieden.

Met betrekking tot de frequentiekarakteristiek van de hoorprothesen werd speciale aandacht besteed aan de vorm van het drempelaudiogram en het verloop van de isophoon op het niveau van comfortabel luisteren. Op deze basis stelden WATSON en KNUDSEN in 1940 een frequentiekarakteristiek voor, die het spiegelbeeld van het drempelaudiogram moest zijn. Zij introduceerden voor deze vorm van versterking de term „selectieve versterking”. Dit in tegenstelling tot de uniforme versterking, waarbij alle frequenties even veel versterkt worden.

DAVIS en medewerkers publiceerden in 1946 de resultaten van hun onderzoeken omtrent de meest geschikte frequentiekarakteristiek.

Zij gingen daarbij meer empirisch te werk en stelden vast dat een vereenvoudigde standaardkarakteristiek voor verschillende vormen van doofheid in een hoog percentage van de gevallen goede resultaten opleverde. Versterking van de frequentieband van 500 Hz tot 4000 Hz met een 6 db per octaaf stijgende lijn werd het meest doelmatig bevonden. In 1947 verscheen in Engeland een rapport van de Medical Research Council, waarin een curve, die met 15 db per octaaf stijgt tot 750 Hz en daarna horizontaal loopt tot ongeveer 4000 Hz, genoemd wordt als de in het algemeen meest gunstige frequentiekarakteristiek.

Als zijnde ondoelmatig en onpractisch, werd door DAVIS c.s. de „selectieve versterking”, zoals o.a. door WATSON en KNUDSEN bedoeld, verworpen. Of juist gezegd, de door laatst genoemden op theoretische overwegingen voorgestelde aanpassing van de frequentiekarakteristiek aan het verloop van de luidheidscurve op het niveau van comfortabel luisteren bij de patient. De uitdrukking „selectieve versterking” loopt anders gevaar in discrediet te geraten.

Deze term, waaronder men moet verstaan een versterking die niet voor alle frequenties gelijk is, kan echter gehandhaafd blijven. De door DAVIS voorgestelde karakteristiek is immers ook een vorm van selectieve versterking.

Van een gedetailleerde, zuiver individuele aanpassing van een hoorprothese, zoals bij het aanmeten van een bril wegens verminderde visus, is het nog niet gekomen.

In de eerste plaats omdat het, wegens de altijd bestaande onregelmatigheid in de frequentiekarakteristiek, technisch niet mogelijk was deze steeds de juiste vorm te geven. En voorts omdat deze wijze van aanpassing tijdrovend en als routinemethode onpractisch was en bovendien, gezien de resultaten met de door DAVIS c.s. opgestelde vereenvoudigde karakteristiek als overbodig beschouwd kan worden.

Toch is er zeker behoefte aan enige mate van individuele aanpassing, door het kunnen wijzigen van de versterking in verschillende frequentie-gebieden. De huidige hoorapparaten hebben dan ook een frequentiekarakteristiek, die in het midden van de toonschaal een min of meer gelijkmatige versterking geven en waarin, met behulp van resonantie effecten wijzigingen zijn aan te brengen. Er is dus sprake van een instelbare selectieve versterking, die mogelijkheid tot individuele aanpassing inhoudt.

Hoewel men niet ontevreden kan zijn over de bereikte resultaten, is het ideaal toch nog niet bereikt. Nog altijd zijn er een vrij groot aantal patienten, voornamelijk die met een perceptie doofheid, waarbij de resultaten niet bevredigend zijn. Bij deze patienten vormt de vervorming die de spraakklanken ondergaan en waardoor deze onverstaaanbaar worden, nog altijd een groot probleem.

Voor een deel vindt deze vervorming zijn oorzaak in het hoorapparaat zelf, doch in hoofdzaak is zij het gevolg van de eigenschappen van het pathologische gehoororgaan, terwijl ook de combinatie vaak een belangrijke rol speelt. Door het hoorapparaat treedt soms alleen maar verbetering op in de meest gunstige omstandigheden (gesprek à deux, zonder lawaai).

Indien er teveel achtergrondlawaai of nagalm is, worden de spraakklanken al te gemakkelijk zoveel gemaskeerd of gerekt, dat verstaanbaarheid van de spraak niet meer mogelijk is.

Voor verdere verbetering van de spraakverstaanbaarheid voor de slechthorende door middel van een hoortoestel, zal in het algemeen gestreefd moeten worden naar een behoud van de normale spraakpatronen en een eliminatie of compensatie van factoren die vervorming daarvan te weeg kunnen brengen. Dat wil zeggen dat getracht moet worden een zodanige versterking toe te passen, dat de spraakpatronen die via de prothese en het perifere zintuig aan het cerebrum worden aangeboden, nog gediscrimineerd kunnen worden, eventueel na verhoging van de verstaanvaardigheid door hoortraining. Welke vorm de versterking zal moeten hebben, hangt dus af van de eigenschappen van het perifere transmissiegedeelte en de discriminatiemogelijkheden van het centrale gedeelte van het gehoororgaan.

Bekend is, dat er bij een gestoorde functie van het binnenoor een aantal eigenschappen optreden, die vervorming van de spraakpatronen veroorzaken. Gezien het grote belang daarvan voor de verstaanbaarheid van de spraak, zullen de oorzaken, die verantwoordelijk zijn voor deze distorsie, later afzonderlijk worden besproken.

Op welke wijze het perifere gehoororgaan zijn taak van omzetting van de aangeboden spraakklanken in zenuwimpulsen ook vervult, het belangrijkste is of deze centraal gediscrimineerd kunnen worden. Van deze centrale hoorfunctie is nog zeer weinig bekend.

De laatste jaren begint het onderzoek naar de centrale hoorstoornissen meer in de belangstelling te komen en wordt er getracht hiervoor een enigszins eenvoudige onderzoeksmethode te vinden. Het onderzoek naar het spraakdiscriminatievermogen, zijnde een centrale functie, vormt hierbij steeds het uitgangspunt. Door verschillende technische ingrepen, onder andere het uitzeven van bepaalde frequentiegebieden en periodieke onderbrekingen, wordt de spraakverstaanbaarheid van het aangeboden testmateriaal kunstmatig bemoeilijkt. De discriminatie van deze verminkte spraak zal namelijk bij een cerebrale beschadiging van het gehoororgaan eerder gestoord zijn dan bij de gezonde mens.

Het is vooral de naam van BOCCA die in dit verband genoemd kan worden. Hij heeft op verschillende wijze de spraak verminkt om daarna de discriminatie daarvan bij patienten met een tumor van de temporaalkwab en bij gezonde proefpersonen te vergelijken.

Ook MATZKER heeft zich bezig gehouden met de diagnostiek van cerebrale stoornissen. Bij zijn „binaurale hoorsynthese test” gaat hij uit van twee spraakbanden, die ieder voor zich onverstaanbaar zijn en die geen frequenties met elkaar gemeen hebben (500—800 Hz en 1500—2400 Hz), maar overigens wel op natuurlijke wijze coherent zijn.

Deze beide banden zijn, tezamen aan één oor aangeboden, echter wél verstaanbaar. Ook is dit het geval, wanneer deze twee spraakbanden gelijktijdig, doch ieder aan een verschillend oor aangeboden worden. Voorwaarde voor de zogenaamde binaurale integratie van de twee spraakbanden, die geen gemeenschappelijke frequenties bezitten, is volgens MATZKER echter, dat er geen stoornis is in de kruisende banen van de rechter- en linker gehoorzenuwbaan. Wanneer dus de discriminatie bij de bovengenoemde binaurale aanbieding slechter is dan bij de monaurale aanbieding, dan wijst dit volgens hem op een stoornis van de kruisende banen in de hersenstam.

Het verschijnsel van deze binaurale integratie (dit is dus de smelting van twee prikkels, respectievelijk van rechter en linker oor tot één gewaarwording) is voor BOCCA het uitgangspunt geweest voor een nieuwe benadering van het probleem der binaurale summatie, waarover, zoals hij zegt, nog steeds geen volledige overeenstemming bestaat met betrekking tot het bestaan ervan. Met binaurale summatie bedoelt men, dat het gezamenlijk effect van de prikkels van rechter

en linker oor groter is dan van één van de prikkels afzonderlijk. Tot dusver werd dit verschijnsel voornamelijk aan de hoordrempel onderzocht voor twee gelijke zuivere tonen. BOCCA echter biedt aan één oor verminkte spraak (bevattende alleen frequenties beneden 500 Hz) op een niveau van 45 db aan (gemiddelde articulatiepercentage voor het normale oor 42 %). Aan het andere oor wordt deze zelfde spraak gelijktijdig ongefilterd aangeboden, echter op een zodanig intensiteitsniveau, dat het gemiddelde articulatiepercentage hiervan slechts 23 % bedraagt. Bij deze binaurale aanbieding stijgt nu het articulatiepercentage tot 76 %, terwijl bij gezamenlijke monaurale aanbieding het articulatiepercentage niet meer dan 40 % bedraagt.

BOCCA concludeert hieruit, dat binaurale summatie inderdaad bestaat en dat deze van centrale oorsprong is. En voorts dat het resultaat van binauraal horen gelijk is „aan de „som” van het beiderzijds monuraal horen”. Bij de monaurale aanbieding trad daarentegen geen stijging van het articulatiepercentage op ten gevolge van optredende maskering van de zwakke, ongefilterde spraak door de luidere prikkels van de gefilterde spraak.

Naast het onderzoek van de spraakverstaanbaarheid in kwantitatieve zin wordt de laatste jaren meer aandacht besteed aan de discriminatie van de spraakklanken afzonderlijk en aan de discriminatie in bepaalde frequentiegebieden uit het spectrum van de spraak. Deze methode van onderzoek wordt wel *kwalitatieve spraakaudiometrie* genoemd.

KRUISINGA bestudeerde in verschillende gevallen van doofheid het subjectief herkenningsvermogen voor de spraakklanken aan de hand van de bij het misverstaan voorkomende phoneemverwisselingen. LAFON ging bij de bestudering van de discriminatie bij verschillende vormen van doofheid ook uit van de phoneemverwisselingen. GUBERINA bepaalde bij slechthorenden de discriminatie in verschillende smalle frequentiegebieden (octaafbanden) door middel van op deze frequentiebanden, voor wat hun formanten betreft, afgestemde woorden.

Het kwalitatieve spraakaudiometrisch onderzoek is van groot belang voor de audiologie. Onder andere heeft het practisch nut in verband met de aanpassing van hoortoestellen. Zij kan ons, in individuele gevallen, inzicht geven in de nog resterende discriminatie

in verschillende delen van de toonschaal, hetgeen van fundamenteel belang is voor het bepalen van de bij de versterking te gebruiken selectieve aanpassing.

De toepassing van het huidige hoortoestel is ook in ander opzicht onvolkomen te noemen. Doordat het namelijk van het monaurale type is, houdt het geen mogelijkheid tot ruimtelijk horen in. Het ideale hoortoestel zal daarom binauraal moeten zijn, dat wil zeggen, het zal voor elk oor een volledig versterkerkanaal moeten hebben met eigen microfoon.

Op het eerste gezicht lijkt dit gebrek slechts een „schoonheidsfoutje”, vermoedelijk omdat de normaalhorende zich niet bewust is dat hij met twee oren hoort en daardoor de mogelijkheid van ruimtelijk horen heeft. Binauraal horen is echter niet alleen van belang voor het richting- en afstandhoren en het ruimtelijk bewustzijn, maar zeker ook voor de verstaanbaarheid van de cerebraal te verwerken spraak. In dit licht bezien kan men volledig instemmen met SEDEE, die in zijn dissertatie zegt: „binauraal horen is meer dan tweemaal monauraal horen”.

In hoofdstuk II komen wij op het binauraal ruimtelijk horen nader terug.

De verminderde spraakverstaanbaarheid die in vele gevallen van perceptiedoofheid, ook mét toepassing van een hoortoestel, bestaat, is aanleiding geweest verschillende factoren die daarbij van invloed zijn, nog eens te beschouwen.

Nu het wel duidelijk is, dat de afgenomen gevoeligheid van het perifere zintuig niet de enige oorzaak van de verminderde verstaanbaarheid van spraak is, hebben wij getracht dit probleem van meer kwalitatieve zijde te bezien.

Allereerst zullen daarvoor de eigenschappen van het gestoorde gehoororgaan, die een vervorming van de spraakpatronen veroorzaken, worden besproken (Hoofdstuk III.).

Aangezien het vermogen spraakklanken te discrimineren met behulp van de bestaande cerebrale vaardigheid, afhangt van de kenmerken van de perifere spraak-output, zal voor de bestudering van de spraakverstaanbaarheid bij slechthorendheid speciaalaandacht moeten worden besteed aan de hierbij optredende wijzigingen in de spraakpatronen.

In dit verband hebben wij in het bijzonder gedacht aan de invloed,

die uitgaat van een verstoring van de normale energieverhouding van die spraakcomponenten, welke respectievelijk in de bas- en discant zone van de toonschaal zijn gelegen. Voorts zal gelet worden op de kwalitatieve bijdrage van de baszone- en de discantzonecomponenten tot de verstaanbaarheid van spraak (Hoofdstuk IV).

Wij hebben getracht hierover op experimentele wijze met behulp van normaalhorende proefpersonen meer gegevens te verkrijgen. De resultaten hiervan zullen in hoofdstuk V besproken worden.

Hoofdstuk II

BINAURAAL HOREN EN DE VERSTAANBAARHEID VAN SPRAAK

Het meest essentiële van het binauraal horen is wel het beleven van de ruimte om ons heen als zodanig. Alleen het horen met twee oren kan een goed ruimtelijk bewustzijn geven. De gevoelswaarde van ruimtelijk waargenomen geluid is een andere dan die van geluid waaraan de ruimtelijke indruk is ontnomen. Dit laatste is anders van karakter, doet de normaalhorende onaangenaam aan en kan een gevoel van beklemming geven.

Naast een belangrijke psychologische betekenis heeft het ruimtelijk horen een grote praktische betekenis voor de discriminatie van een bepaald geluid (bijvoorbeeld spraak) in aanwezigheid van een ander, al of niet ongewenst, geluid of lawaai. Het verschil met monuraal horen in dit opzicht is zeer opmerkelijk. Daarop werd reeds in verschillende publicaties gewezen.

K. DE BOER en VERMEULEN beschreven in 1939 een, op voorstel van KÖSTER vervaardigd, experimenteel hoortoestel, waarbij de mogelijkheid van ruimtelijk horen aanwezig was. In elk van de gehoorgangen van een zogenaamd kunsthoofd werd een microfoontje geplaatst, dat ieder voor zich via een apart versterkersysteem werd verbonden met respectievelijk rechter- en linker aansluiting van een dubbele koptelefoon. Zij merken op, dat men met het tweekanalige systeem de aandacht beter kan concentreren op de richting waaruit het geluid komt, waardoor men minder hinder ondervindt van storende geluiden uit andere richtingen.

In Amerika heeft KOENIG experimenten uitgevoerd met een tweekanalig systeem. Hij beschrijft de in bepaalde omstandigheden bestaande subjectieve verschillen tussen binauraal horen (beide kanalen ingeschakeld) en monuraal horen (één kanaal ingeschakeld). Met het binaurale systeem valt het hem op, dat de hinder die men van de

nagalm ondervindt, veel geringer is, omdat de echo's eerder uitgedoofd schijnen en dat het achtergrondlawaai veel geringer schijnt, althans dat dit minder storend is voor de verstaanbaarheid van spraak.

Wanneer verschillende gesprekken gelijktijdig gevoerd worden kan men met het binaurale systeem een enkel gesprek daaruit gemakkelijker volgen, terwijl er met het monaurale systeem slechts een grote spraakverwarring wordt waargenomen.

KOCK onderzocht met een dergelijk binauraal systeem de verstaanbaarheid van spraak in aanwezigheid van een lawaaibron. Een kunsthoofd werd, halverwege op de verbindingslijn, tussen de spraakbron en de lawaaibron geplaatst. De spraakverstaanbaarheid werd afhankelijk bevonden van de stand van het kunsthoofd ten opzichte van de beide bronnen. Wanneer bij de binaurale aanbieding van de geluidsprikkel, afkomstig van de lawaaibron, het tijdsverschil voor beide oren hetzelfde is als voor de geluidsprikkel van de spraakbron, bleek de discriminatie het slechtste te zijn. De beste discriminatie ontstaat wanneer de tijdsverschillen aan beide oren voor respectievelijk het lawaai en de spraak het grootste zijn. Dus wanneer bijvoorbeeld de spraakbron links en de lawaaibron rechts van het kunsthoofd staan opgesteld. KOCK oppert de mogelijkheid dat het cerebrum zich kan instellen op een tijdsvertraging in één van de gehoorzenuwbanen, waardoor een betere concentratie op gewenst geluid, dat met een bepaald tijdsverschil in beide oren aankomt, mogelijk zou zijn.

De meest bekende situatie in het dagelijkse leven waarin het belang van ruimtelijk horen naar voren komt, doet zich voor wanneer men naar een gesprek wil luisteren, terwijl tegelijkertijd andere gesprekken gevoerd worden, het zogenaamde „cocktailparty” probleem. Men kan zich hiervan gemakkelijk overtuigen door in een dergelijke situatie met een vinger één van beide gehoorgangen af te sluiten. Het volgen van één bepaald gesprek wordt dan zeer moeilijk.

Over de spraakverstaanbaarheid in een dergelijke omstandigheid werden onlangs uit een onderzoek door POLLACK en PICKETT objectieve gegevens verkregen. Zij onderzochten de verstaanbaarheid van spraak in een achtergrondlawaai, bestaande uit een groep door elkaar sprekende personen. Aan een aantal proefpersonen werden spraak en het achtergrondlawaai samen op twee verschillende wijzen

aangeboden, namelijk stereofonisch (twee microfoons, ieder via een eigen kanaal met een eigen koptelefoon verbonden), en monauraal, door één kanaal uit te schakelen.

Het articulatiepercentage bleek met het stereofonische systeem belangrijk hoger te liggen dan met het monaurale systeem. De signaal-ruis verhouding kon bij stereofonische aanbieding ook veel ongunstiger zijn, vóórdat het verstaanbaarheidspercentage beneden 50 % daalde.

De verstaanbaarheid van spraak temidden van achtergrondlawaai is aanzienlijk gemakkelijker wanneer men ruimtelijk kan horen.

Dit geldt ook voor de verstaanbaarheid van een spraakbron terwijl tegelijkertijd een tweede aanwezig is. Verschillende onderzoekers, onder wie HIRSH, hebben aangetoond, dat door ruimtelijke scheiding van de spraakbronnen de verstaanbaarheid vergemakkelijkt wordt. Naarmate de spraakbronnen dichter bij elkaar gebracht worden, wordt de discriminatie van één van die bronnen bemoeilijkt. Een voorbeeld van extreme ruimtelijke scheiding is de *dichotische* aanbieding, waarbij aan ieder oor één spraakbron wordt aangeboden. Onder dichotische aanbieding verstaat men dus het tegelijkertijd aanbieden van twee verschillende prikkels, echter ieder afzonderlijk aan één oor. Bij deze vorm van aanbieding is één van de spraakbronnen gemakkelijk te verstaan, zoals CHERRY heeft aangetoond.

De discriminatie van spraak in aanwezigheid van andere spraak is in zeker opzicht te vergelijken met die van spraak in aanwezigheid van achtergrondlawaai. In beide gevallen moet het gewenste signaal gescheiden worden van storend achtergrondgeluid. In het eerste geval is het achtergrondlawaai echter van bijzondere aard. Doordat het namelijk ook uit spraak bestaat, komt het wat de informatieve inhoud en ook wat zijn rythmisch tonaal karakter betreft, veel overeen met het gewenste signaal. De discriminatie wordt nu niet alleen bemoeilijkt door optredende maskering, zoals bij achtergrondlawaai, maar ook doordat gemakkelijk verwarring met het gewenste signaal optreedt.

Hier komt nog een belangrijk *phonologisch* aspect naar voren. Het is duidelijk, dat bij twee verschillende stemmen, bijvoorbeeld een mannenstem en een vrouwenstem, de bovengenoemde moeilijkheden zich minder gemakkelijk zullen voordoen dan wanneer men te doen heeft met twee mannen- of twee vrouwenstemmen. Ook een bestaand

verschil in stembuiging is van betekenis voor de concentratie op het gewenste geluid.

EGAN, CARTERETTE en THWING hebben enkele factoren onderzocht die invloed hebben op de verstaanbaarheid van een bericht onder gelijktijdige aanbidding van een tweede, daarop gelijkend bericht. Zij boden daartoe tegelijkertijd twee korte zinnen met verschillende inhoud aan enkele proefpersonen aan, met de opdracht één daarvan na te zeggen. Door met behulp van filters slechts een gedeelte van het frequentiespectrum van het tweede bericht door te laten, werd de verstaanbaarheid van het eerste bericht verbeterd. Behalve door het aanbrengen van een verschil in doorgelaten frequentiegebied kan de verstaanbaarheid van het gewenste bericht verhoogd worden door de beide berichten niet gezamenlijk aan beide oren, doch gescheiden, ieder aan één oor aan te bieden (dichotisch). Bij deze vorm van aanbidding bleef ook bij hoge intensiteiten van het tweede, interfererende bericht een goede verstaanbaarheid van het gewenste bericht mogelijk. Maskering trad nu niet op, wat wel het geval was wanneer beide berichten tezamen aan één of beide oren werden aangeboden.

Dat men nog goed kan telefoneren in een vertrek waar ook andere gesprekken gevoerd worden, is mogelijk doordat men daarbij ook gebruik maakt van gescheiden aanbidding en een verschil in frequentiespectrum als gevolg van de telefoonkarakteristiek.

Bezien wij de mogelijkheid van discriminatie van spraak te midden van achtergrondlawaai, dan kunnen wij constateren dat behalve ruimtelijke scheiding, het verschil in aard of het verschil in frequentiespectrum van beide geluiden wel van invloed zijn op de verstaanbaarheid van de gewenste spraak, maar dat ruimtelijk horen hiervoor van primair belang is. Dié mogelijkheid echter kan het monaurale hoorapparaat de slechthorende niet bieden.

Uit de voortschrijdende technische ontwikkeling, die tot vervaardiging van steeds betere miniatuur apparaten leidt, mag men verwachten dat in de toekomst een binauraal hoortoestel in vele gevallen toegepast zal kunnen worden.

Dit zal dan de volgende voordelen hebben:

1. ruimtelijk horen, waardoor
 - a. de mogelijkheid van richting horen.
 - b. minder hinder van achtergrondlawaai.

- c. minder hinder van nagalm.
- d. wanneer meerdere gesprekken tegelijk gevoerd worden, één daarvan beter te volgen is.
- 2. een drempelverlaging van circa 3 db.
- 3. de mogelijkheid van een betere individuele aanpassing.

Van het in punt 3 genoemde voordeel is een belangrijke verbetering van de verstaanbaarheid van spraak te verwachten.

Een betere individuele aanpassing zal bereikt zijn, als de versterking zodanig aan het gestoorde gehoororgaan wordt aangepast, dat de spraakpatronen na transformatie door het perifere gedeelte van het gehoorzintuig in het centrale gedeelte nog gediscrimineerd kunnen worden. Zoals eerder gezegd, zal hiervoor getracht moeten worden de factoren, die vervorming van de spraakpatronen in het perifere gehoororgaan kunnen veroorzaken, te elimineren of te compenseren.

In dit verband zullen nu eerst de oorzaken van de bij perceptiedoofheid optredende vervorming besproken worden en zal gepoogd worden een duidelijker inzicht te verkrijgen in de wijze waarop deze vervorming de verstaanbaarheid van de spraak ongunstig beïnvloedt.

Hoofdstuk III

SPRAAKVERSTAANBAARHEID BIJ PERCEPTIEDOOFHEID

Van de doofheden, onderscheiden in die, waarbij de oorzaak in het geleidingssysteem is gelegen, en die, waarbij de oorzaak in het percipiërende gedeelte van het gehoororgaan gezocht moeten worden, zijn de laatste doorgaans prothetisch veel moeilijker te verhelpen. Al vanaf het begin van de toepassing van hoorapparaten ter verbetering van slechthorendheid is deze ervaring opgedaan. Dit is overigens niet verwonderlijk, want het probleem ligt bij beide vormen van doofheid verschillend.

Weliswaar zijn beide gekenmerkt door een verminderde gevoeligheid van het zintuig, alhoewel het verloop van de hoordrempel doorgaans een belangrijk verschil vertoont, maar bij de perceptiedoofheid is dit niet het enige verschijnsel. Er treden hierbij ook boven de hoordrempel een aantal pathologische eigenschappen op, zodat het afwijkend functioneren van het gehoororgaan slechts ten dele zijn oorzaak vindt in de drempelverschuiving.

Het verschil in de hoorfunctiestoornis komt al tot uiting in de aard van de klachten van patienten met een geleidingsdoofheid ten opzichte van die met een perceptiedoofheid. Doordat in de eerste gevallen meestal ook de baszone bij het gehoorverlies betrokken is, is de luidheid waarmee geluidsprikkels waargenomen kunnen worden, sterk verminderd. De patient dreigt, door inkrimping van zijn acoustische „actieradius” het contact met de buitenwereld eerder te verliezen. Hij is zich dan ook meer bewust van zijn doofheid, zijn wereld is stiller en hij vertoont vaker de psychische gevolgen daarvan dan de perceptiedove. Bij de perceptiedoofheid, waarbij de baszone vaak weinig aangetast is, dreigt het contact met de buitenwereld niet verloren te gaan, maar is de communicatie daarmee, door verminderde

verstaanbaarheid van de aan het cerebrum aangeboden spraak, wél gestoord. Deze patienten hebben de veel voorkomende klacht „ik hóór het wel als er iets gezegd wordt, maar ik kan het niet verstaán.

Geluid van bijvoorbeeld voetstappen of een deur die gesloten wordt, kan goed gehoord en geïnterpreteerd worden, zodat ogenschijnlijk het gehoor soms normaal is. Bij kinderen is dit er vaak de oorzaak van, dat de moeilijkheden met het spraakverstaan niet opgemerkt worden.

Typerend voor de perceptiedoofheid is ook de moeilijkheid om spraak te verstaan in een lawaaierige omgeving en in ruimten met een sterke nagalm. In het bijzonder ook de moeilijkheid om een gesprek te volgen wanneer meerdere mensen tegelijk spreken.

De belangrijkste functie van het gehoororgaan bij de mens is, naast de acoustische waarneming van de ruimte om ons heen, toch wel het verstaan van spraak. Kennis van het frequentieverloop van de hoordrempel is voor de beoordeling van deze hoorfunctie onvoldoende, aangezien het verstaan van spraak zich niet aan de hoordrempel, doch aanzienlijk daar boven afspeelt. Het is een groot praktisch belang om het gehoororgaan ook wat deze functie betreft, te kunnen testen. Uit behoefte hieraan werd de spraakaudiometrie ontwikkeld, die een zeer waardevolle onderzoeksmethode is gebleken.

Eenzijds werden hieruit gegevens verkregen over de mogelijkheid van spraakverstaan bij verschillende vormen van doofheid, anderzijds kwamen, door het supraliminale karakter van spraak, verschillen in de hoorfunctie boven de drempel tot uiting.

Het testmateriaal bij het spraakaudiometrisch onderzoek bestaat gewoonlijk uit woordlijsten, waarin de phonemen in dezelfde frequentie voorkomen als in de normale omgangstaal (zogenaamde fonetisch gebalanceerde lijsten). Door deze fonetisch gebalanceerde lijsten op verschillende intensiviteitsniveau's aan te bieden en daarbij telkens het daarbij behorende articulatiepercentage — dit is het percentage woorden dat goed verstaan is — vast te stellen, verkrijgt men een spraakaudiogram. Deze onderzoeksmethode werd door REIJNTJES in zijn dissertatie uitvoerig beschreven.

Uit dit onderzoek hebben we drie verschillende vormen van articulatiecurven leren kennen (fig. 1). Het C-type heeft betrekking op patienten met een geleidingsdoofheid. De curve heeft een zelfde verloop als bij normaalhorenden, doch is in zijn geheel evenveel

naar rechts verschoven als overeenkomt met de hoordrempelverhoging. Bij voldoende versterking wordt weer een articulatiepercentage van 100 % bereikt.

De twee andere typen hebben betrekking op patienten met een perceptiedoofheid. Bij het P-type ziet men, dat de plaats van het voetpunt eveneens, afhankelijk van het gehoorverlies, naar rechts verschoven is en de curve aanvankelijk eenzelfde verloop heeft als

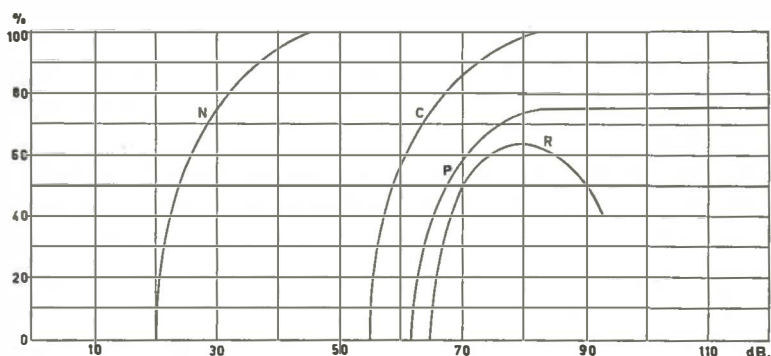


Fig. 1.

Voorbeelden van verschillende spraakaudiogrammen (naar REIJNTJES).

N = normaal spraakaudiogram.

C = spraakaudiogram bij geleidingsdoofheid.

P = spraakaudiogram bij perceptiedoofheid.

R = spraakaudiogram bij perceptiedoofheid met regressie.

de normale articulatiecurve. Bij een bepaald articulatiepercentage buigt deze curve echter om en heeft verder een horizontaal verloop. Verdere versterking geeft geen verhoging van het articulatiepercentage meer, doch dit bereikt een maximum dat beneden de 100 % ligt. Het verschil dat blijft bestaan, wordt het *discriminatieverlies* genoemd.

Bij het tweede type, dat bij perceptiedoofheid voorkomt, het R-type, zien we dat de articulatiecurve na het bereiken van een maximum naar beneden ombuigt. Deze krijgt daardoor een typische, zogenaamde „helmvorm”. Na het bereiken van het maximum heeft verdere versterking een daling van het articulatiepercentage tot gevolg. In deze gevallen is er dus slechts een kleine intensiteitsbreedte waarin spraak tot een bepaald percentage verstaan kan worden.

Uit bovenbeschreven articulatiecurven zien wij dat de supraliminale

hoorfunctie voor het verstaan van spraak bij beide vormen van doofheid verschilt. Terwijl er bij de geleidingsdoofheid door voldoende versterking weer 100 % verstaanbaarheid bereikt kan worden, blijft bij de perceptiedoofheid doorgaans een discriminatieverlies bestaan of neemt dit bij verdere versterking zelfs nog toe.

De verminderde verstaanbaarheid van normale spraak wordt in de gevallen van zuivere geleidingsdoofheid uitsluitend veroorzaakt door de verhoogde hoordrempel. In de gevallen van perceptiedoofheid is dit echter slechts voor een gedeelte de oorzaak. Het niet bereiken van volledige verstaanbaarheid is hier niet het gevolg van onvoldoende luidheid, maar van *bemoeijlikte discriminatie* van de spraakklanken.

Hier zij opgemerkt, dat voor de verstaanbaarheid behalve de discriminatie, nog andere factoren een rol spelen, zoals het geheugen, de concentratie en een zekere mate van hoortraining. Deze factoren bepalen met elkaar de vaardigheid waarmee het cerebrum de aangeboden informatie verwerkt en de hoorgewaarwording tot stand komt. Dit proces, hetgeen men de *verstaanvaardigheid* noemt, kan belangrijke individuele verschillen vertonen. Bekend is, dat door training de verstaanvaardigheid verhoogd kan worden en dat deze op hoge leeftijd veelal afneemt.

Als oorzaak van verminderde verstaanbaarheid van spraak moeten de onvoldoende luidheid en de onvoldoende discriminatie van de spraakklanken goed onderscheiden worden. Het herstel van het spraakgehoor bij beide vormen van doofheid vormt daardoor een verschillend probleem.

Bij de geleidingsdoofheid, waar onvoldoende luidheid van de spraakklanken, door verhoging van de hoordrempel, de oorzaak is, is dit een kwestie van versterking. Bij de perceptiedoofheid is het herstellen van het spraakgehoor echter vaak een probleem van verbetering van de discriminatie.

Voor de bemoeijlikte discriminatie zijn twee hoofdoorzaken op te geven:

1. incompleteid van de spraakklanken.
2. distorsie van de spraakklanken, dit is een vervorming van de normale spraakpatronen.

Ad 1. Door drempelverhogingen in een beperkt gedeelte van de toonschaal („dips”) kan er een gehele of gedeeltelijke uitval bestaan van phonemen, die in dat gebied belangrijke kenmerken hebben. De perceptie van de stemloze medeklinkers, die een geringere intensiteit hebben, zal het eerst door de selectieve drempelverhogingen gestoord worden.

Ad 2. De hier bedoelde pathologische distorsie moet wel onderscheiden worden van de physiologische distorsie en van de objectieve distorsie. De physiologische distorsie is de vervorming, die bij grotere intensiteiten in het midden- en binnenoor van het normale gehoororgaan optreedt. Onder objectieve distorsie verstaat men de vervorming, die ontstaat door alineaire werking van de versterkingsapparatuur, wanneer men geluid versterkt aan het oor aanbiedt.

De optredende subjectieve distorsie bij de perceptiedoofheid vindt zijn oorsprong in het pathologische binnenoor. De normale spraak bestaat uit complexe geluidstrillingen die binnen een bepaald tijdsbestek snel in frequentie en intensiteit wisselen. Voor de waarneming hiervan moet het gehoororgaan aan hoge eisen voldoen. De waarneming van toonhoogte en van luidheid, waaronder het vermogen om verschillen in frequentie en intensiteit waar te nemen, zijn hiervoor van fundamentele betekenis. De waarneming van verschillen in frequentie en in intensiteit worden respectievelijk in de begrippen toonhoogtetrede en toonsterktetrede uitgedrukt. Een afwijking hierin houdt voor het gehoororgaan een verminderde mogelijkheid tot differentiatie tussen de verschillende spraakcomponenten in.

Stoornissen in één of meer van bovengenoemde functies kunnen in het binnenoor distorsie veroorzaken. Verder kunnen afwijkingen in de bij het normale horen ook voorkomende verschijnselen, zoals maskering, adaptatie en vermoeidheid hierbij nog een belangrijke rol spelen.

Als oorzaken van subjectieve distorsie kunnen genoemd worden:

1. Diplacusis. Dit verschijnsel treedt op bij een stoornis in de waarneming van toonhoogte. Geluid met een bepaald trillingsgetal veroorzaakt bij asymmetrische doofheid in beide oren een verschillende toonhoogtegevoelenswaarde. Hierdoor ontstaat in het percipiërende gedeelte van het gehoororgaan een disharmonische opeenvolging van de spraakcomponenten, waardoor de discriminatie bemoeilijkt wordt.

2. Vermoeidheid. Hieronder verstaat men een reversibele uitputting van het zintuig onder invloed van luide prikkels, die tot uiting komt in tijdelijke drempelverhogingen. Bij bepaalde vormen van perceptiedoofheid treedt een zeer snelle vermoeidheid op.
3. Recruitment. Dit verschijnsel is het gevolg van een pathologische luidheidsfunctie van het gehoororgaan en komt in vele gevallen van perceptiedoofheid voor, zoals de lawaaidoofheid, de ziekte van Menière, streptomycinedoofheid en progressieve hereditaire doofheid. In het algemeen bij de cochleaire aandoeningen. De luidheid neemt hierbij boven de drempel van het zieke oor snel toe tot normale waarden. Bijvoorbeeld bij een hoordrempelverhoging van 40 db kan een toon van 30 db boven die drempel even luid worden waargenomen als een toon van 70 db in het normale oor. Bij normaalhorenden heeft de luidheidscurve van een toon van 1000 Hz als functie van de intensiteit, bij benadering een recht evenredig verloop. De onderzoeken van STEINBERG en GARDNER hebben uitgewezen, dat bij geleidingsdoofheden de luidheid eveneens rechtevenredig met de intensiteit toeneemt, doch dat bij perceptiedoofheid de luidheidscurve een steiler verloop kan hebben.

HUIZING heeft dit verschijnsel van vermindering van de slechthorendheid bij hogere intensiteitsniveau's *regressie* genoemd. Hij heeft er tevens op gewezen welke belangrijke gevolgen dit heeft voor het verstaan van spraak. De intensiteitsverhouding van de verschillende spraakklanken onderling, zoals klinkers en medeklinkers, en van de verschillende componenten binnen een phoneem wordt door een aanwezig regressieverschijnsel sterk gewijzigd. De verstoring van de normale luidheidspatronen veroorzaakt ernstige vervorming van de spraakklanken. Het hoordrempelverlies moet hierbij wel in acht genomen worden. Bij een gering drempelverlies kan regressie namelijk de verminderde oorgevoeligheid compenseren. Is het drempelverlies echter groter, dan ontstaat een zodanige distorsie, dat discriminatie van de spraakklanken niet meer mogelijk is.

Terwijl de sterkste componenten van de spraak met bijna normale luidheid worden waargenomen, komen de zwakste componenten niet boven de drempel. Toepassing van ver-

sterking in deze gevallen geeft grote moeilijkheden in verband met de vernauwde spraakspan. Door gelijke versterking van de verschillende componenten van een spraakklank zou niet alleen het niveau van aangename luidheid ver overschreden worden, maar ook de onderlinge luidheidsverhouding van die componenten nog sterker verstoord worden. HUIZING heeft daarvan een schematische voorstelling gegeven, welke in fig. 2 is afgebeeld.

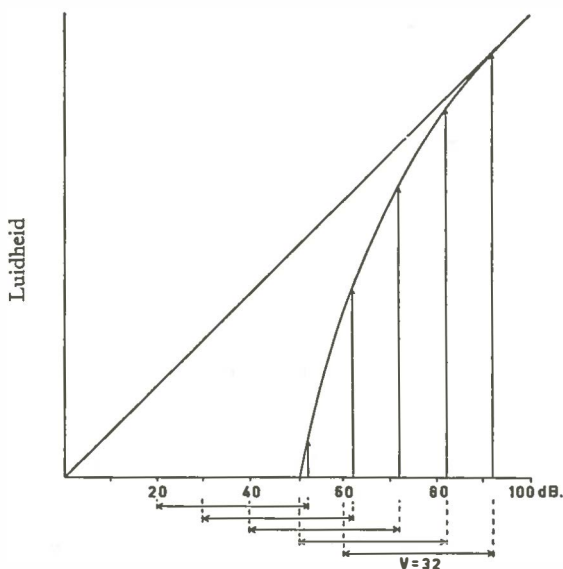


Fig. 2.

Schematische voorstelling van het gevolg van uniforme versterking van 32 db op de onderlinge luidheidsverhoudingen van een aangenomen spraakklank met 5 componenten van resp. 20, 30, 40, 50 en 60 db in het geval van regressie (naar HUIZING).

4. De aflopende vorm van de hoordrempel.

In de meeste gevallen van perceptiedoofheid heeft de hoordrempel een zogenaamde aflopende vorm. Dit is een naar de discantzone toenemende drempelverhoging. De mate van helling kan variëren, maar deze bedraagt veelal 15 db per octaaf of meer.

Doordat de baszone, zolang er geen zware slechthorendheid in het spel is, vrijwel intact blijft en de drempelverhoging dus alleen in de discantzone optreedt, wordt de natuurlijke energieverhouding van de bascomponenten uit de spraak en de componenten uit de discantzone verstoord. De invloed hiervan op de verstaanbaarheid van de spraak zal in het volgende hoofdstuk nader worden besproken.

Hoofdstuk IV

PHYSISCH-ACOUSTISCHE EIGENSCHAPPEN VAN SPRAAK

INLEIDING

Onderzoekers van verschillende gebieden van wetenschap, zoals medici, physici, physiologen, psychologen en phonetici, hebben reeds geruime tijd aandacht geschonken aan één van de belangrijkste uitingsmogelijkheden van de mens: de spraak.

Men kan deze blijkbaar vanuit vele takken van wetenschap bezien en onder meer van de zijde van de klankgever en de klankontvanger. De twee fundamentele problemen, die zich daarbij voordoen, namelijk dat van de *vorming* van de spraakklanken en dat van de *verstaanbaarheid* van de geproduceerde spraakklanken, zijn sterk aan elkaar gekoppeld.

Spraakklanken bestaan uit complexe trillingen, die in intensiteit en frequentie binnen een bepaald tijdsbestek zeer snel wisselen en die opgebouwd zijn uit een aantal enkelvoudige trillingen, ieder met een eigen amplitudo, frequentie en phase. De fysische analyse daarvan is een uitgebreide en een veelal moeilijke materie.

Onderling vertonen de spraakklanken vaak grote verschillen, zowel wat betreft de gemiddelde energie, als wat betreft de verdeling van de energie over de toonschaal (spectrale energieverdeling). Zo werd voor het Engels het verschil van de gemiddelde energie tussen de sterkste en zwakste spraakklank op 28 db bepaald (SACIA en BECK). Grote verschillen in spectrale energieverdeling ziet men vooral tussen klinkers en medeklinkers, zoals gemakkelijk verondersteld kan worden op grond van de verschillende wijze, waarop zij tot stand gebracht worden. Terwijl verschillende medeklinkers vrijwel een ruis-spectrum hebben, zien wij bij de klinkers steeds duidelijke pieken in de spectrale energieverdeling.

Het onderzoek naar de fysische kenmerken van de spraak als het totaal van de tot woorden geformeerde spraakklanken, zowel als van

de spraakklanken afzonderlijk, is van grote betekenis. Het kan als uitgangspunt dienen voor de bestudering van het mechanisme, dat de *oorzaak* is van die kenmerken, als ook voor de studie van de verstaanbaarheid van de spraakklanken, die *afhankelijk* is van die kenmerken. Op het eerstgenoemde, waarbij de problemen aan de zijde van de klankgever liggen, zullen wij niet verder ingaan. Hiervoor zij onder meer verwezen naar de dissertatie van J. VAN DEN BERG. Het laatstgenoemde roept echter problemen op aan de zijde van de klankontvanger. Enkele voor ons onderzoek belangrijke aspecten daarvan zullen nu nader besproken worden.

PHYSISCH-ACOUSTISCHE EIGENSCHAPPEN

Bij het fysisch onderzoek van de spraakklanken heeft men, zoals boven gezegd, gezocht naar kenmerken die bepalend zijn voor de discriminatie van de phonemen. Het ligt voor de hand dat hierbij, wat de klinkers betreft, allereerst werd gedacht aan de zogenaamde formanten. Hieronder verstaat men de energetisch bevoorrechte frequentiegebieden, die, nadat de lucht in het aanzetstuk door aanblazen via de stembanden in trilling is geraakt, door de fysische eigenschappen van het als resonantieholte dienstdoende aanzetstuk ontstaan. Hierdoor ontstaat voor ieder phoneem een spectrale energieverdeling, die min of meer typerend is voor het desbetreffende phoneem. Fig. 3 geeft een overzicht van de spectrale energieverdeling van verschillende klinkers.

De poging om de factoren van belang voor de discriminatie van de phonemen alleen te verklaren vanuit de formanten is zeker niet geheel bevredigend. Uit het door KRUISINGA verrichte kwalitatieve spraakaudiometrisch onderzoek is dit wel gebleken. De voorkomende phoneemwisselingen bij afsnijding van bepaalde gedeelten van de toonschaal stemden namelijk niet overeen met hetgeen men aan de hand van de diverse formantgebieden mocht verwachten. De kenmerkende factoren voor de verstaanbaarheid van een phoneem kunnen blijkbaar moeilijk beoordeeld worden aan de phonemen afzonderlijk. Een dergelijke beoordeling lijkt ons daarvoor te statisch. Bij de spraak treden immers steeds combinaties van spraakklanken op, waardoor het spectrum van de afzonderlijke spraakklanken vrij sterk kan wisselen.

Een algemeen aanvaarde classificatie van de kenmerkende factoren

van een phoneem voor de verstaanbaarheid kan momenteel nog niet gegeven worden. Van de tot dusver door fysische analyse verkregen objectieve gegevens staat nog niet geheel vast, welke factoren essentieel zijn voor de subjectieve informatie, die de spraakklanken voor het gehoororgaan bezitten. Verder zijn er allerlei aanwijzingen dat bij slechthorendheid, als gevolg van de aard van het gehoorverlies, de daadwerkelijke betekenis van de verschillende kenmerkende factoren gewijzigd wordt.

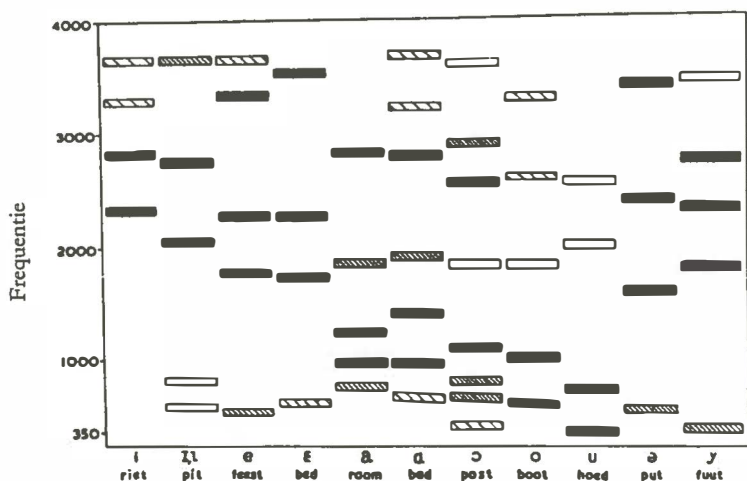


Fig. 3.

Spectrale energieverdeling van de klinkers (naar VAN DEN BERG). De intensiteit is weergegeven door een zwarting in vijf trappen: 20—15, 15—10, 10—5, 5—0 en ≤ 0 db.

Bezien wij nu de spraak als combinaties van phonemen in zijn geheel. Doordat de afzonderlijke spraakklanken spectraal gezien onderling zeer grote verschillen vertonen, breidt het frequentiespectrum van de spraak zich van ongeveer 100 Hz tot 8000 Hz uit. De spectrale energieverdeling van de spraak werd onder anderen onderzocht door GRANDALL en MACKENZIE, DUNN en WHITE en door LOYE en MORGAN. De door deze laatste onderzoekers gevonden spectrale energieverdeling van normale Engelse conversatiespraak is afgebeeld in fig. 4. Hieruit ziet men, dat de meeste energie gelegen is in het frequentiegebied beneden 1000 Hz.

Wanneer men met betrekking tot dit spectrum de informatieve inhoud van de spraak beziet, dan valt op te merken, dat grote gebieden van het frequentiespectrum uitgezeefd kunnen worden, zonder dat de subjectieve informatie daaronder belangrijk lijdt. Een objectief sterke verminking van de spraakpatronen behoeft de subjectieve informatie-waarde en dus de verstaanbaarheid nog niet noemenswaard te beïnvloeden. De technici hebben van dit feit dankbaar gebruik gemaakt bij de vervaardiging van moderne communicatiemiddelen.

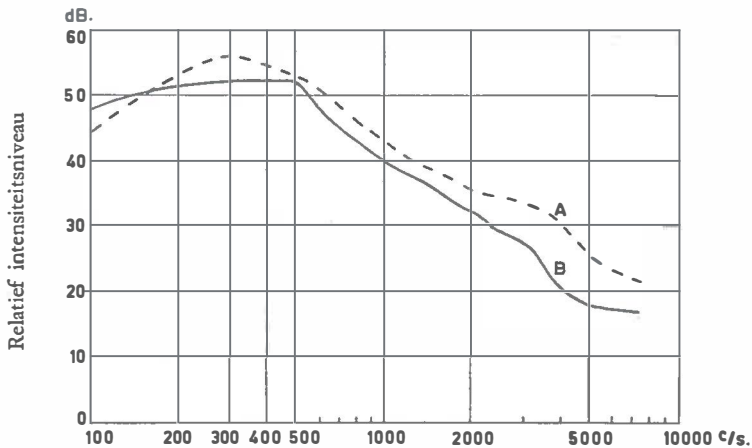


Fig. 4.

Energiespectrum van normale Engelse conversatiespraak (naar LOYE en MORGAN).

A voor vrouwenstemmen.

B voor mannenstemmen.

Veel belangrijk onderzoek op dit terrein werd verricht door de wetenschappelijke afdeling van de Bell Telephone Company, waarbij vooral de naam van HARVEY FLETCHER genoemd moet worden.

Wat betreft de verstaanbaarheid van gewone conversatiespraak onder normale omstandigheden kan men spreken van een belangrijke mate van „redundancy” of overtolligheid aan informatie, omdat deze ver uit gaat boven de door het gehoororgaan minimaal benodigde informatie.

Naar aanleiding van het feit dat, althans in gunstige omstandigheden, grote frequentiegebieden afgesneden kunnen worden zonder de verstaanbaarheid te bemoeilijken, rijst direct de vraag in welke

mate elk frequentiegebied tot de verstaanbaarheid bijdraagt. Men kan het frequentiegebied van de spraak hiervoor onderverdelen in smalle frequentiebanden, bijvoorbeeld ter breedte van één octaaf. Door nu de spraak zodanig te filteren dat achtereenvolgens slechts alleen de frequenties in één van deze octaafbanden doorgelaten wordt, en de aldus verkregen geamputeerde spraak aan een normaal oor aan te bieden kan men de functionele betekenis van elk opeenvolgend octaaf door een articulatiepercentage aangeven.

Wij hebben dit onderzoek, voor wat Nederlandse conversatiespraak betreft, als volgt verricht.

De op een magnetische band opgenomen Groninger P.B. lijsten no. 1 t/m 10 werden na passage door een octaaffilter aan normaalhorende proefpersonen aangeboden op het intensiteitsniveau van „most comfortable listening”. De bepaling van het articulatiepercentage geschiedde steeds na het afspelen van een volledige woordlijst.

Het blokschema van de opstelling is weergegeven in fig. 5.

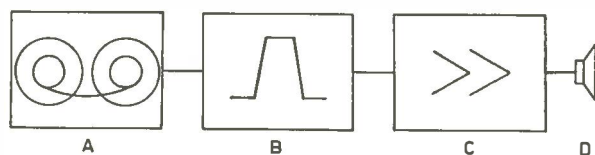


Fig. 5.

Blokschema van de opstelling voor de aanbieding van gefilterde spraak.

A = Bandrecorder.

B = Octaaffilter.

C = Versterker

D = Luidspreker.

De apparatuur bestond uit:

- A. *Bandrecorder*. Het gebruikte apparaat was een model 2010 tape-recorder van Webster Corporation Chicago, met een vrijwel gelijkmatige weergave tussen 70 en 7500 Hz. Als bandsnelheid werd steeds $7\frac{1}{2}$ " per seconde genomen. De gebruikte band was een 120 A Scotch magnetic tape.
- B. *Octaaffilter*. Gebruikt werd het octaafbanddoorlaat-filter type OB-5 van de firma Wandel en Goltermann. Het doorlaatbereik omvat 8 aaneensluitende octaven van 35—9200 Hz of van 50—12.000 Hz. Hieruit kan naar keuze steeds één enkel octaaf doorgelaten worden. De filter kwaliteit bedraagt 15 db per

octaaf. Teneinde de filtering te verscherpen werden twee van deze octaaffilters in serie geschakeld (30 db/octaaf).

C. *Versterker*. Hiervoor diende een in het Audiologisch Instituut gebouwde versterker, die aan hoge weergave-eisen voldeed.

D. *Luidspreker*. Voor de geluidswaergave werden de dubbele bol-luidsprekers van de firma M. P. Pedersen te Kopenhagen gebruikt. De bollen hebben een rubberen afsluitrand, die rond de beide oren van de patient of proefpersoon aangesloten worden. In de van binnen beklede bollen treden geen belangrijke resonantie-effecten op, terwijl door de afsluitende rubberranden nog een isolatie van 15 tot 20 db bereikt wordt.

In fig. 6 is het gemiddelde articulatiepercentage van 15 normaal-horenden voor elk van de aangeboden octaafbanden uitgezet. De getrokken lijnen geven de 4 octaafgebieden aan, die gelegen zijn tussen 280 en 4480 Hz, de gestreepte lijnen de 4 octaafgebieden tussen 400—6400 Hz.

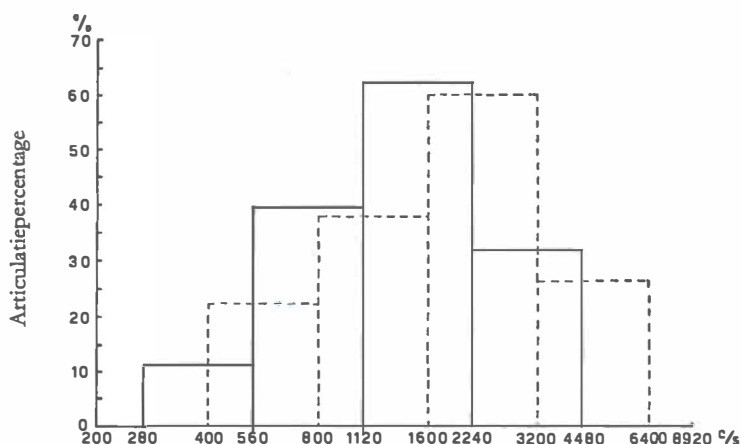


Fig. 6.
Partiël articulatiepercentage in verschillende octaafgebieden
voor Nederlandse conversatiepraak.

Uit deze grafiek blijkt, dat de frequenties in het midden en lage discantgedeelte van de toonschaal verweg de grootste bijdrage tot de verstaanbaarheid leveren.

Het frequentiegebied van de spraak kan ook op andere wijze verdeeld worden, bijvoorbeeld in twee gedeelten, door het bij een bepaalde frequentie af te snijden. Het is bekend, dat als alle componenten *beneden* 1000 Hz uitgezeefd worden, de verstaanbaarheid goed blijft, terwijl de intensiteit sterk daalt. Het omgekeerde, verminderde verstaanbaarheid, doch vrijwel gelijke intensiteit, doet zich voor bij het uitzeven van de componenten *boven* 1000 Hz.

Hieruit kan men concluderen:

1. dat de „over-all” intensiteit voornamelijk in de baszone gelocaliseerd is;
2. dat er een aantal relatief zwakke energiecomponenten gelegen zijn in het frequentiegebied boven 1000 Hz, die aan het oor de meeste informatie geven.

Reeds in 1904 werd door ZWAARDEMAKER en QUIX de toonschaal in twee gedeelten verdeeld en wel in de baszone of zona gravis van $C-d^2$ en in een discantzone of zona acuta van d^2-fis^4 . Op grond van de huidige kennis van de fysisch-acoustische eigenschappen van de spraakcomponenten zouden wij de grens tussen de twee zones echter op 1000 Hz willen stellen, zodat wij in dit proefschrift het frequentiegebied van 100—1000 Hz als baszone of *zona gravis* zullen betitelen en het frequentiegebied van 1000—8000 Hz als discantzone of *zona acuta*.

Langs de toonschaal kan men dus twee gebieden onderscheiden, ieder met een eigen functie. De *intensiteit* is voornamelijk aan de *baszone* gebonden, de *discriminatie* daarentegen voornamelijk aan de *discantzone*.

ENERGIEBALANS

Tussen de spraakenergie, die respectievelijk in de baszone en de discantzone van de toonschaal is gelegen, bestaat een zekere fysiologische energieverhouding. Deze verhouding is af te leiden uit de curve van de spectrale energieverdeling (fig. 4) en kan voor conversatiespraak op ongeveer 20 db gesteld worden.

Wanneer men nu te maken heeft met een doofheid met een aflopend drempelaudiogram dan is het duidelijk, dat subjectief in het gehoororgaan deze energieverhouding gemakkelijk verstoord kan worden, al naar gelang de mate van helling van het audiogram en afhankelijk van de luidheidsfunctie van het pathologische gehoororgaan.

Welke is nu de invloed van een *gestoorde energiebalans* tussen bas- en discantzone op de verstaanbaarheid van de spraak?

Verwacht mag worden, dat in een dergelijk geval van de relatief veel sterkere impulsen in de zona gravis een ongunstige invloed op de verstaanbaarheid uitgaat. Om aan te tonen welke rol de baszone-componenten speciaal bij de conversatiespraak hierbij kunnen spelen, zullen wij ter vergelijking nu ook de *fluisterspraak* in onze beschouwingen betrekken.

Het verschil met de conversatiespraak bestaat namelijk hierin, dat door een verschillend gebruik van de larynx, bij de fluisterspraak de lage frequenties vrijwel ontbreken.

In het volgende experiment komt de invloed van de sterke lage componenten uit de conversatiespraak in het geval van een aflopend audiogram *synthetisch* tot uiting:

In een opstelling van een tweekanalig circuit kan door toepassing van filters in het ene kanaal alleen een band uit de baszone (140—280 Hz) doorgelaten worden en in het andere kanaal alleen een band uit de discantzone (1128—2256 Hz). Door middel van een db afzwakker in het kanaal met de „hoge” frequenties kunnen deze een willekeurig aantal db verzwakt worden ten opzichte van de „lage” frequenties, alvorens de twee signalen te verenigen. Hiermee wordt dus min of meer het effect van een aflopend audiogram nagebootst. Het blok-schema van deze opstelling is in fig. 7 weergegeven.

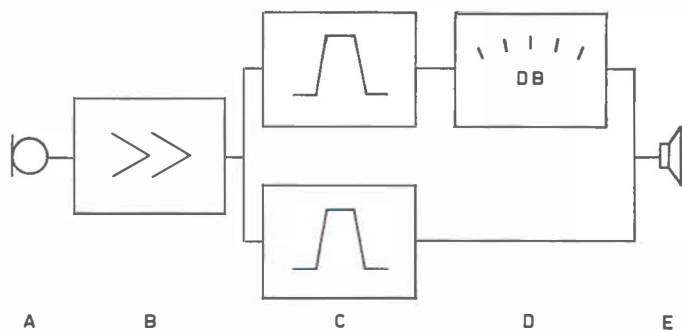


Fig. 7.

Blokschema van het tweekanalige circuit.

A = microfoon.

B = versterker.

C = octaafilters.

D = decibelafzwakker.

E = luidspreker.

De apparatuur bestond uit:

- A. *Microfoon*. Hiervoor werd een bij de versterker behorende condensatormicrofoon gebruikt.
- B. *Versterker*. Als microfoonversterker deed dienst het type 2601 van de Deense firma Bruel en Kjaer.
- C. *Octaafilters*. Hiervoor werden dezelfde apparaten van de firma Wandel en Goltermann gebruikt als beschreven op blz. 31 naar aanleiding van fig. 5. Thans werden de in beide kanalen geplaatste octaafilters echter ieder op een verschillende banddoorlaatfrequentie ingesteld, respectievelijk 1128—2256 Hz en 140—280 Hz.
- D. *Decibelafzwakker*. Als afzwakker werd gebruikt het type T 690 A van „The Daven Company”. Dit is een in stappen van 1 db geijkte afzwakker met een gelijkmatig frequentiebereik tot 17 kHz.
- E. *Luidspreker*. Voor de geluidswaergave diende een Philips dubbelconus luidspreker type 9710.

Wanneer men in deze opstelling, uitgaande van normale spraak, de „hoge” band 40 db ten opzichte van de „lage” band verzwakt, dan blijkt dat voor *conversatiespraak* het uit deze situatie ontstane spraakpatroon voor het normale oor niet meer te verstaan is. Daarentegen blijft de verstaanbaarheid van *fluisterspraak* goed. Wél wordt de fluisterspraak zachter, wanneer de hoge frequenties verzwakt worden, terwijl de intensiteit van de conversatiespraak daar niet merkbaar door verandert.

Wanneer men bedenkt dat de fluisterspraak, in tegenstelling tot de conversatiespraak, slechts zeer weinig componenten in de baszone heeft, dan kan men uit het bovenbeschreven experiment het volgende concluderen:

In het geval van conversatiespraak is bij een verstoring van de fysiologische energiebalans tussen bas- en discantzone de oorzaak van de verminderde verstaanbaarheid gelegen in een *ongunstige invloed van de baszonecomponenten*.

Het ligt nu voor de hand aan te nemen, dat in een dergelijk geval deze ongunstige invloed bestaat uit een *maskering* van de verzwakte discantzonecomponenten door de relatief veel sterkere baszonecomponenten.

MASKERING

Onder maskering wordt het volgende verstaan: Wanneer een toon „A” op een constant intensiteitsniveau wordt aangeboden en daarnaast tegelijkertijd een andere toon „B”, waarvan men de intensiteit geleidelijk laat toenemen, dan zal men de eerste toon aanvankelijk nog zachter en tenslotte in het geheel niet meer kunnen waarnemen. Men zegt dan dat toon „A” door toon „B” gemaskeerd wordt. Toon „A” wordt de *gemaskeerde* toon genoemd, toon „B” de *maskerende* toon.

De sterkste maskerende werking wordt door een toon uitgeoefend op de frequenties, die de toon direct omgeven. De maskerende werkingssfeer breidt zich verder voornamelijk uit naar het hoger gelegen frequentiegebied, zoals door WEGEL en LANE werd aangetoond (fig. 8). Deze figuur laat zien, dat de grootte van het maskeringsgebied afhangt van de intensiteit van de maskerende toon.

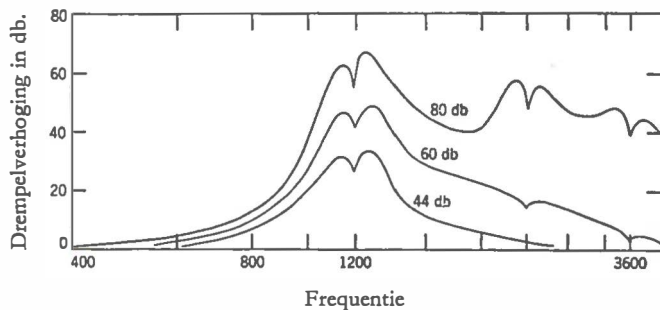


Fig. 8.

Maskering. De curven tonen het frequentiegebied aan, waarbinnen een drempelverhoging optreedt als gevolg van een maskerende toon van 1200 Hz. Elk van de drie curven heeft betrekking op een verschillend intensiteitsniveau van de maskerende toon, aangegeven in de figuur (naar WEGEL en LANE).

De mate van maskering, ook wel genoemd de *maskeringsgraad*, is eveneens afhankelijk van de intensiteit van de maskerende toon. Onder maskeringsgraad verstaat men het in db uitgedrukte verschil tussen de normale hoordrempel voor een toon A en de hoordrempel voor dezelfde toon A in aanwezigheid van een maskerende toon B.

In fig. 9 is voor verschillende tonen deze drempelverhoging aangegeven als functie van de intensiteit van een maskerende toon, bij aanbieding aan hetzelfde oor. Ieder van de vier afbeeldingen heeft betrekking op een verschillende maskerende toon.

Voor complexe trillingen geldt tot op zekere hoogte hetzelfde als hetgeen hierboven voor zuivere tonen is gezegd. Ook spraakklanken kunnen dus gemaskeerd worden door verschillende vormen van geluid. De invloed van maskerende geluiden op spraak kan onder andere gemeten worden aan de hierdoor optredende daling van het articulatiepercentage.

De belangrijkste geluiden, waarmee men in verband met maskering van spraak doorgaans te doen heeft, kan men onderscheiden in tonen, verschillende vormen van ruis en eveneens spraak.

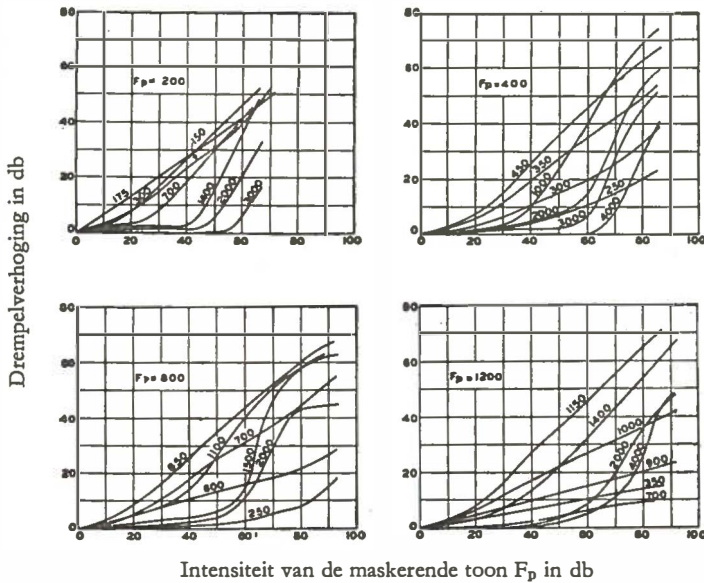


Fig. 9.

Monaurale maskering. Drempelverhoging voor zuivere tonen als functie van de intensiteit van een maskerende toon, aangeduid met F_p (naar WEGEL en LANE).

Van verschillende geluiden werd reeds de mate, waarin zij spraak kunnen maskeren, onderzocht. Voor zuivere en complexe tonen onder anderen door STEVENS, MILLER en TRUSCOTT. De maskeringsgraad van verschillende vormen van ruis en van stemgeluiden werd nagegaan door G. A. MILLER.

De maskering van spraak is in hoofdzaak afhankelijk van de volgende drie factoren van het maskerende geluid:

1. De intensiteitsverhouding van het maskerende geluid en de spraak.
2. Het frequentiespectrum van het maskerende geluid.
3. De tijdsduur van het maskerende geluid.

Wat het laatste betreft: doordat de spraak een overdaad aan informatie bezit, zal, wanneer een maskerend geluid niet continu aanwezig is, maar intermitterend, bijvoorbeeld gedurende de helft van de tijd van de spraak, de verstaanbaarheid slechts weinig dalen.

De invloed van de boven onder 1 en 2 genoemde factoren van het maskerende geluid komt tot uiting in de resultaten, die MILLER verkreeg bij zijn maskeringsproeven van spraak door verschillende ruisbanden. Van blanke ruis werden door middel van filters een aantal ruisbanden samengesteld, die op verschillende intensiteitsniveau's aangeboden werden tegelijkertijd met spraak, waarvan het niveau constant op 95 db werd gehouden (fig. 10). Zoals te verwachten is, geeft de brede ruisband de sterkste maskering. De maskering door smalle ruisbanden laten een onderling geheel verschillend beeld zien. Deze is afhankelijk van de intensiteitsverhouding van de ruisband tot de spraak en van de frequenties, die de ruisband bevat.

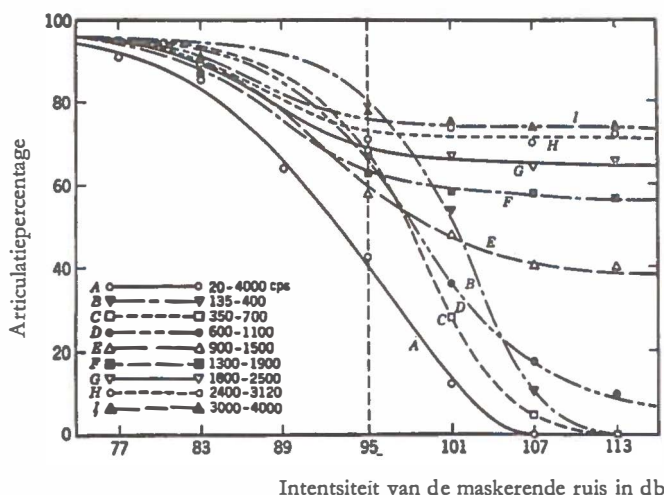


Fig. 10.

Maskering van ongefilterde spraak door verschillende ruisbanden (naar MILLER). De curven geven het articulatiepercentage weer als functie van de intensiteit van de ruisbanden, die in de figuur zijn aangegeven. De spraak werd op een constant intensiteitsniveau van 95 db aangeboden.

Uit fig. 10 zien wij, dat bij geringere intensiteit ten opzichte van de spraak de ruisbanden met midden en hoge frequenties iets sterker maskeren dan de lage ruisbanden, terwijl bij grotere intensiteit de lage ruisbanden aanzienlijk sterker maskeren dan de midden en hoge ruisbanden.

Voor de verklaring hiervan moeten wij nog eens zien naar het frequentiespectrum van de spraak en naar de kwalitatieve functie van de discantzonecomponenten.

Zoals gezegd, is de verstaanbaarheid voornamelijk gebonden aan de zona acuta en is de energie in die zone relatief zwak. Ruisbanden met midden en hoge frequenties kunnen daardoor de discantzonecomponenten van de spraak betrekkelijk gemakkelijk maskeren. Dat dit in het geval van fig. 10 slechts een geringe daling van het articulatiepercentage geeft, moet verklaard worden door de vrij smalle ruisbanden, die voor de maskering zijn gebruikt, zodat nog naburige, eveneens tot de verstaanbaarheid bijdragende, frequentiegebieden buiten bereik van het maskerende ruisspectrum blijven. Bij hogere intensiteiten van de ruis ten opzichte van de spraak maskeren de lage ruisbanden belangrijk meer dan de midden- en hoge ruisbanden, hetgeen in fig. 10 tot uiting komt in een sterkere daling van het articulatiepercentage. De oorzaak hiervan is gelegen in een bij toenemende intensiteit bestaande uitbreiding van de maskerende werking over de hoger gelegen frequentiegebieden. Voor de lage ruisbanden is die uitbreiding zodanig, dat de voor de verstaanbaarheid zo belangrijke spraakcomponenten in de zona acuta nu ook gemaskeerd worden.

Terwijl het voor de hand ligt, dat een brede ruisband de spraak gemakkelijk maskeert, is het opvallend, dat een smalle ruisband, bestaande uit lage frequenties, bij hogere intensiteiten een bijna even sterke maskering teweeg kan brengen.

DE INVLOED VAN DE HOORDREMPEL

In het voorgaande is alleen gesproken over maskering van de spraak, tot uiting komende in een daling van het articulatiepercentage, door aan de normale spraak gelijktijdig aangeboden geluiden. Wij hebben gezien, dat daling van het articulatiepercentage vooral optreedt, wanneer de discantzonecomponenten van de spraak gemaskeerd worden. Deze discantzonecomponenten kunnen echter ook gemaskeerd worden, zonder dat aan de spraak maskierend geluid

wordt toegevoegd. Namelijk óók door de lage componenten uit de spraak *zelf* en wel, wanneer een verstoring van de energieverhouding tussen de bas- en discantzonecomponenten bestaat, waardoor de eersten sterk gaan overheersen.

Deze verstoring van de energieverhouding kan zich voordoen in het geval van een zogenaamd *aflopend drempelaudiogram*, waarbij dus de hoordrempel voor de midden en hoge frequenties meer verhoogd is dan voor de lage frequenties. Van de lage componenten uit de spraak, die veel tot de intensiteit, maar weinig tot de verstaanbaarheid bijdragen, zal dan een maskerende invloed kunnen uitgaan, die te vergelijken is met die van een lage ruisband zoals boven beschreven.

Hierdoor wordt bij een aflopende vorm van het drempelaudiogram in het percipiërende deel van het gehoororgaan een belangrijke wijziging van de normale spraakpatronen veroorzaakt, waardoor de discriminatie bemoeilijkt wordt. Dit is één van de, in het vorige hoofdstuk genoemde, factoren van subjectieve distorsie, die bij de perceptiedoofheid kan optreden.

Een andere, daar ook vermelde oorzaak van subjectieve distorsie — het regressie verschijnsel — kan zich ook voordoen bij het aflopende drempelaudiogram.

Bij de toepassing van hoortoestellen in gevallen van binnenoor-doofheid is het van grote betekenis rekening te houden met deze twee belangrijke, in het pathologische gehoororgaan gelegen, oorzaken van vervorming van de spraakpatronen. In het belang van de spraakverstaanbaarheid zal de versterking namelijk zodanig moeten zijn, dat de vervorming althans niet groter wordt en zo mogelijk deze compenseert of opheft.

Uniforme, lineaire versterking biedt hiervoor onvoldoende uitkomst. In hoofdstuk III werd reeds gewezen op het gevolg van deze vorm van versterking bij de zogenaamde regressiegevallen. De benodigde versterking voor de verschillende componenten van een spraakklank kan bij een pathologische luidheidsfunctie sterk verschillend zijn. Bovendien wisselen de spraakpatronen van de verschillende phonemen voortdurend wat intensiteit en frequentie betreft, zodat de benodigde versterking voor een bepaalde frequentie geen constante grootte is.

Om bij bestaande regressie deze moeilijkheid, van een juiste dosering van de intensiteit voor de verschillende frequenties, het hoofd

te kunnen bieden, heeft HUIZING reeds in 1949 gewezen op de mogelijkheid van tweekanale versterking. Door gescheiden versterking van de *baszone* en de *discantzone* zouden de twee functionele kwaliteiten van beide spraakbanden, respectievelijk intensiteit en discriminatie, beter op elkaar afgestemd kunnen worden.

Nu wij het belang gezien hebben van een gunstige energiebalans tussen de beide zones kan men inzien, dat de gescheiden versterking van de baszone en de discantzone vooral ook van nut kan zijn in gevallen, waarbij subjectief de energieverhouding gestoord is, dus in gevallen van een min of meer steil aflopend drempelaudiogram. Bovendien in gevallen van een betrekkelijk licht aflopende hoordrempel, in omstandigheden met veel achtergrondlawaai.

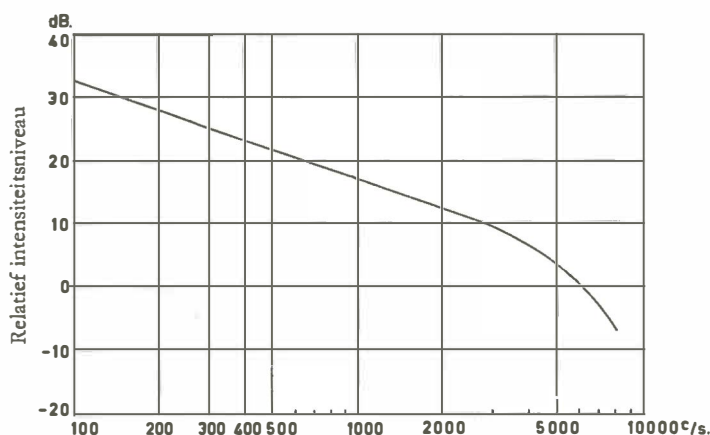


Fig. 11.

Spectrale energieverdeling van achtergrondlawaai. Gemiddelde van in een aantal rumoerige vertrekken gemeten achtergrondlawaai (naar НОТН).

Het is namelijk bekend, dat diverse vormen van achtergrondlawaai een vrijwel identiek spectrum hebben, waarbij de meeste energie steeds in de baszone is gelegen. Dit blijkt onder anderen uit een onderzoek van НОТН, die van een groot aantal in een vertrek mogelijke achtergrondgeluiden het frequentiespectrum heeft onderzocht. Het gemiddelde van die spectra wordt weergegeven in fig. 11.

Aangezien men in het geval van spraak bij een aflopend drempelaudiogram reeds te maken heeft met een relatief „te veel” aan lage

frequenties, zal dus bij tevens aanwezig achtergrondgeluid, op grond van het spectrum hiervan, de energiebalans baszone—discantzone, of wel kwalitatief gezien, de balans intensiteit—discriminatie, nog ongunstiger beïnvloed worden.

Tot dusver hebben wij gezien, dat bij een aflopend audiogram in het gehoororgaan subjectief een verstoring van de energiebalans tussen bas- en discantzone optreedt. In het volgende hoofdstuk zullen wij nader ingaan op het daarmee gepaard gaande maskeringseffect van de baszonecomponenten op de discantzonecomponenten.

Hoofdstuk V

EIGEN ONDERZOEK

INLEIDING

Ter inleiding nog enkele opmerkingen over het binauraal horen, aangezien bij dit onderzoek een gelijktijdige stimulatie van de beide gehoororganen aan de orde zal komen.

Een belangrijke eigenschap van de gehoorfunctie is het vermogen om een bepaald geluid te kunnen onderscheiden, wanneer tevens ander geluid aanwezig is. Wat betreft de discriminatie van spraakklanken in aanwezigheid van achtergrondgeluid werd in hoofdstuk II reeds onder andere naar aanleiding van het „cocktailparty” probleem gesproken over de hinder, die er bij een normaal gehoor van het achtergrondgeluid uitgaat. Namelijk in die zin, dat er bij de discriminatie van het gewenste geluid gemakkelijk verwarring optreedt met het achtergrondgeluid. Deze aard van storende invloed op de discriminatie is in het *centrale* gedeelte van het gehoororgaan gelegen en treedt bij binauraal-ruimtelijk horen minder sterk op dan bij monauraal horen.

Een andere vorm van storende invloed van het achtergrondgeluid is die, welke in het *perifere* gedeelte van het gehoororgaan is gelegen en die bestaat uit een optredende maskering. Hierbij wordt de perceptie van het gewenste geluid bemoeilijkt of verhinderd als gevolg van de inwerking van het achtergrondgeluid. Ook deze vorm van storende invloed is, althans gedeeltelijk, te voorkomen door gebruik te maken van de beide gehoororganen, mits er daarbij voor gezorgd wordt, dat de maskerende prikkel aan het andere oor wordt aangeboden.

Contralaterale maskering treedt namelijk eerst op, wanneer de intensiteit van de maskerende prikkel zodanig is, dat deze door voortgeleiding via de schedel toch weer met voldoende luidheid in het andere oor wordt waargenomen (zogenaamd „overhoren”).

WEGEL en LANE hebben de contralaterale maskering voor zuivere tonen onderzocht. Fig. 12 geeft de benodigde intensiteiten van een toon weer, waarop deze nog juist waarneembaar is als functie van de intensiteit van de maskerende toon bij homolaterale en contralaterale aanbieding. Hieruit blijkt, dat bijvoorbeeld een toon van 1400 Hz op het 30 db-niveau bij gelijktijdige aanbieding van een toon van 1200 Hz ter sterkte van 60 db als gevolg van maskering niet waargenomen kan worden. Bij aanbieding van deze beide tonen, elk aan een apart oor en op dezelfde intensiteitsniveau's, is de toon van 1400 Hz echter wel waarneembaar, zelfs nog met onveranderde intensiteit.

Het is bekend, dat de storende invloed van achtergrondgeluid in het perifere gehoororgaan in gevallen van een binnenoordeofheid met een aflopend drempelaudiogram eerder optreedt dan bij het normale oor (blz. 41).

Dit bracht A. POLIAKOFF reeds omstreeks 1939 op de gedachte een gewoon hoortoestel te voorzien van een dubbele koptelefoon, waarbij voor één van de twee telefoons, door middel van een daarmee in serie geschakelde condensator, de lage frequenties werden onderdrukt.

Door de lage frequenties, die de sterkste maskerende werking hebben, uit één oor weg te houden, bereikt hij wat hij noemde „unmasked hearing”. POLIAKOFF heeft hierover nooit iets gepubliceerd, zodat nadere gegevens, onder andere over welke filtering werd toegepast en welke de telefoonkarakteristieken waren, ontbreken. Het bovenstaande is ontleend aan een persoonlijke mededeling. Toepassing op enigszins ruime schaal heeft dit, aan de output-zijde, tweekanalgig systeem nooit gevonden.

De laatste jaren staat het onderzoek met een tweekanalgig systeem, waarbij tegelijkertijd aan elk oor geluid van een verschillende spectrale samenstelling wordt aangeboden, zeer in de belangstelling. De uitgangspunten, die geleid hebben tot het onderzoek met een tweekanalgig circuit, zijn echter zeer verschillend. Zo beogen BOCCA en vooral ook MATZKER hiermee de opsporing van centrale hoorstoornissen, welke het gevolg kunnen zijn van endocraniële pathologische processen (hoofdstuk I, inleiding). Op geheel ander terrein, namelijk voor de bestudering van de communicatieproblemen voor normaalhorenden in zeer ongunstige omstandigheden, wordt eveneens van deze onderzoeksmethode gebruik gemaakt, met name door de U.S. Naval School of Aviation Medicine te Pensacola, Florida.

In ons geval tenslotte gaat het om de verstaanbaarheid van spraak bij een beiderzijds gestoord perifeer gehoororgaan. Het tweekanalige systeem biedt daarbij de mogelijkheid om de baszonecomponenten en de discantzonecomponenten van de spraak beter gescheiden te houden. Aan beide oren moet daarvoor een verschillende frequentieband worden aangeboden, die zodanig gekozen kunnen worden, dat zij geen frequenties gemeenschappelijk hebben en zodoende, wat hun frequentiespectrum betreft, als twee verschillende geluidsprikkels beschouwd kunnen worden.

Deze vorm van aanbidding, waarbij dus tegelijkertijd aan ieder oor een verschillende prikkel wordt toegediend, hebben wij *dichotische* aanbidding genoemd, overeenkomstig de door STEVENS in zijn handboek „Hearing” genoemde hier volgende definitie: „Dichotic stimulation refers to the simultaneous stimulation of both ears, but with a different stimulus in each ear”.

Men kan bij deze vorm van aanbidding van tweeërlei gedachten uitgaan. Er zijn namelijk twee mogelijkheden:

1. De hoorgewaarwording komt tot stand via één oor, ondanks dat aan het andere oor ook geluid aangeboden wordt. Hiervoor is het noodzakelijk, dat men zich geheel op één oor concentreert, hetgeen, zoals in allerlei proeven is gebleken, wel mogelijk is.
2. De hoorgewaarwording komt via samenwerking van de beide oren tot stand. Voor dit laatste is het noodzakelijk, dat tussen de prikkels aan beide oren een natuurlijke samenhang bestaat, opdat zij in het centrale gedeelte van het gehoororgaan kunnen smelten tot één gewaarwording (binaurale integratie).

Wanneer wij nu de bekende feiten van de homolaterale en contralaterale maskering (fig. 12) in gedachte nemen, dan is het duidelijk, dat dichotische aanbidding van twee geluidsprikkels van voordeel kan zijn, wanneer bij gezamenlijke monaurale aanbidding van deze prikkels maskering op zou treden. In dit verband willen wij de boven, onder punt 1 en punt 2 genoemde mogelijkheden, die zich bij dichotische aanbidding kunnen voordoen, als volgt verduidelijken:

De waarneming van een geluidsprikkel „G” in aanwezigheid van een andere maskerende geluidsprikkel „M” kan worden vergemakkelijkt door „G” en „M” ieder aan een afzonderlijk oor aan te bieden (dichotische aanbidding). Wanneer de geluidsprikkel „M” geen relatie

heeft met de geluidsprikkel „G”, dan zal de hoorgewaarwording van de laatste vanzelfsprekend via één oor tot stand moeten komen. Maar ook denkbaar is het geval, dat tussen „M” en „G” wél een oorspronkelijke relatie bestaat in die zin, dat er een natuurlijke samenhang bestaat tussen de twee prikkels, doch waarbij door een gestoorde onderlinge intensiteitsverhouding „M” een maskerende prikkel voor „G” is geworden. In dat geval zal bij de dichotische aanbieding van de twee prikkels de hoorgewaarwording *wel* via beide oren tot stand kunnen komen, terwijl dan toch geen maskering optreedt.

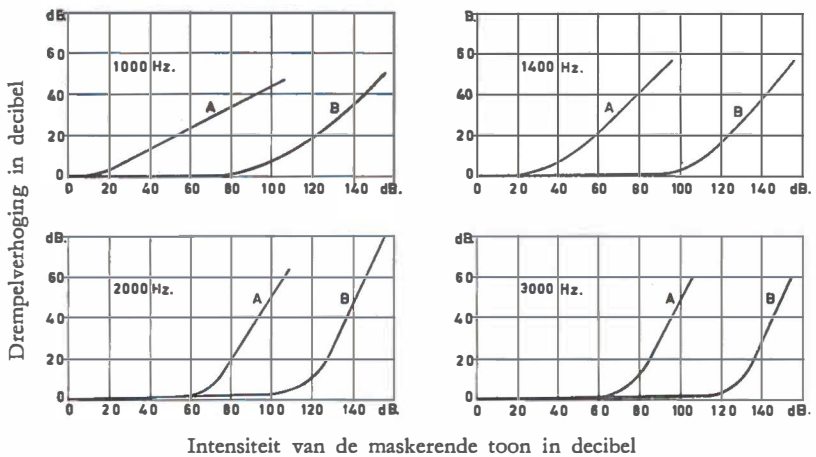


Fig. 12.

Maskering van zuivere tonen van respectievelijk 1000 Hz, 1400 Hz, 2000 Hz en 3000 Hz door een maskerende toon van 1200 Hz (naar WEGEL en LANE).

- A. Homolaterale maskering.
- B. Contralaterale maskering.

Door het frequentiespectrum van een complexgeluid, zoals de menselijke spraak, in twee gedeelten te splitsen, verkrijgt men twee geluidsprikkels met een natuurlijke samenhang (coherente geluidsprikkels). Bij dichotische aanbieding van de twee coherente geluidsprikkels is het cerebrum in staat deze weer te combineren tot het oorspronkelijke beeld.

DOEL VAN HET ONDERZOEK

Van spraak kan men de bovenbedoelde coherente geluidsprikkels verkrijgen door twee verschillende frequentiebanden te „snijden” uit

het frequentiespectrum van een en dezelfde spraak. Deze zogenaamde coherente spraakbanden kunnen zodanig gekozen worden, dat de ene spraakband alleen componenten uit de baszone bevat en de andere spraakband alleen componenten uit de discantzone.

De bedoeling van een dergelijke keuze zal nu duidelijk zijn uit hetgeen in hoofdstuk IV werd beschreven. Daar hebben wij gezien, dat aan de componenten, die in onderscheidene delen van de toonschaal zijn gelegen, met name in de zona gravis en in de zona acuta, een verschillende kwalitatieve functie toegekend kan worden. Voorts, dat een verstoring van de tussen deze componenten bestaande fysiologische energiebalans de verstaanbaarheid van de spraak ongunstig beïnvloed.

De in het geval van perceptiedoofheid met een aflopend drempelaudiogram in het perifere gehoororgaan van de patient optredende subjectieve energiebalansverstoring kan in het experiment met behulp van een tweekanalig systeem nagebootst worden. Via de beide kanalen van een dergelijk systeem kunnen respectievelijk een spraakband uit de zona gravis en een spraakband uit de zona acuta tegelijkertijd aangeboden worden, doch iedere spraakband door middel van een in elk kanaal tussengeschakelde decibelafzwakker op een verschillend intensiteitsniveau. Deze aanbieding kan op twee wijzen geschieden:

1. *monauraal*: de beide spraakbanden gezamenlijk aan één oor;
2. *dichotisch*: de beide spraakbanden wel tegelijkertijd, doch ieder afzonderlijk aan één oor.

De invloed op de verstaanbaarheid van de kunstmatig aan te brengen wijzigingen in de intensiteitsverhoudingen tussen de componenten van de beide spraakbanden kan aan normaalhorende proefpersonen onderzocht worden door bepaling van het articulatiepercentage.

Indien bij monaurale aanbieding van de beide spraakbanden in een kunstmatig gestoorde intensiteitsverhouding verminderde verstaanbaarheid optreedt, kan men dit als een maskeringsverschijnsel interpreteren. Op grond van de bekende homolaterale en contralaterale maskeringsproeven mag men dan bij dichotische aanbieding van de beide spraakbanden in dezelfde intensiteitsverhouding als bij monaurale aanbieding een gunstiger resultaat voor de verstaanbaarheid verwachten. Wanneer dit laatste het geval blijkt te zijn, is daarmee bewezen, dat bij de monaurale aanbieding de verminderde verstaan-

baarheid ten gevolge van de gestoorde intensiteitsverhouding inderdaad berust op een in het perifere gehoororgaan optredend maskeringsverschijnsel.

Het onderzoek beoogt dus op experimentele wijze na te gaan:

1. De invloed op de verstaanbaarheid van een als gevolg van een aflopend drempelaudiogram in het perifere gehoororgaan optredende, gestoorde energiebalans van bas- en discantzonecomponenten uit de spraak.
2. Of bij dichotische aanbieding van baszonecomponenten en discantzonecomponenten door binaurale integratie de impulsen van beide oren kunnen samensmelten tot één gewaarwording en het voordeel daarvan boven monaurale aanbieding.

Hiertoe zullen wij aan normaalhorende proefpersonen met een tweekanalig systeem tegelijkertijd twee verschillende spraakbanden aanbieden, daarbij zal het articulatiepercentage bepaald worden als functie van de twee, op onderling verschillende intensiteitsniveau's, aangeboden spraakbanden. Dit laatste zowel voor *monaurale* als voor *dichotische* aanbieding, zodat de resultaten van beide vormen van aanbieding vergeleken kunnen worden.

GEBRUIKTE APPARATUUR EN TESTMATERIAAL

De gebruikte apparatuur en de opstelling daarvan voor het onderzoek aan de normaalhorende proefpersonen zullen thans besproken worden, alsmede de keuze en samenstelling van het daarbij gebruikte testmateriaal.

Van de proefopstellingen zullen blokschema's weergegeven worden. De daarin aangegeven apparatuur is gedeeltelijk dezelfde als in de opstellingen, die in hoofdstuk IV werden beschreven.

Achtereenvolgens zal besproken worden:

- I. De proefopstelling voor de samenstelling van het testmateriaal.
 - II. De proefopstelling voor de aanbieding van het testmateriaal aan de normaalhorende proefpersonen.
- I. Voor de samenstelling van het testmateriaal moesten, afzonderlijk van elkaar, een spraakband uit de baszone en een spraakband uit de discantzone van normale conversatiespraak op de magnetische band worden vastgelegd, doch zodanig, dat de natuurlijke samenhang niet

verstoord werd. Dit kon worden bereikt via een tweekanalig circuit en een tweekanalige taperecorder. Van een gesproken woord werden in het ene kanaal alleen baszonecomponenten en in het andere kanaal alleen discantzonecomponenten uitgezeefd en tegelijkertijd opgenomen op de twee gescheiden sporen van de magnetische band van de tweekanalige taperecorder, dus zonder verstoring van de natuurlijke tijdsrelatie.

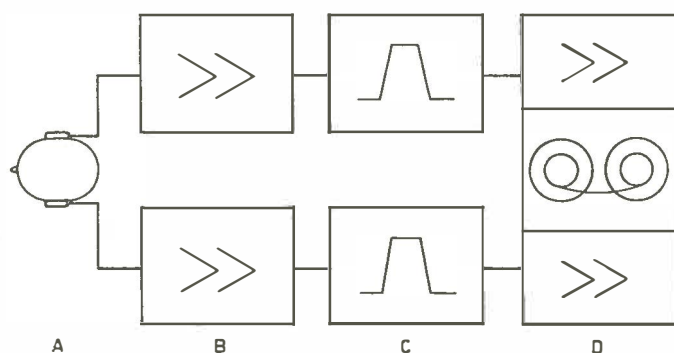


Fig. 13.

Blokschema van de proefopstelling voor de samenstelling van het testmateriaal.

A = Kunsthofd.

B = Versterker.

C = Octaafilters.

D = Tweekanalige taperecorder.

Het blokschema van de opstelling wordt in fig. 13 weergegeven. De apparatuur bestond uit:

- A. *Kunsthofd*. De geluidsopname van de door een mannenstem gesproken testwoorden geschiedde door middel van twee Ronette B 110 microfoonelementen, die elk in een gehoorgang van een kunsthoofd waren geplaatst. Beide microfoons op zich stonden in verbinding met een eigen kanaal.
- B. *Versterkers*. De in elk kanaal afzonderlijk geplaatste versterkers waren beide van het type 2601 van de firma Bruel en Kjaer.
- C. *Octaafilters*. Hiervoor werden dezelfde twee octaafilters type OB van de firma Wandel en Goltermann gebruikt, als op blz. 31 onder B beschreven. De doorgelaten frequentiebanden in de beide kanalen werden ingesteld op respectievelijk 1128—2256 Hz en 140—280 Hz. De filterkarakteristieken zijn afgebeeld in fig. 14.

D. *Tweekanalige taperecorder*. De van elk kanaal afkomstige „spraakband” werd opgenomen op de band van een type YDC Ferrograph tweekanalige taperecorder van de Engelse firma Wright and Weaire Ltd.

Dit apparaat is voor elk kanaal voorzien van een versterker. Voorts heeft elk kanaal een aparte opname- en weergavekop voor twee gescheiden sporen op de band. Dit apparaat heeft een gelijkmatige frequentiekarakteristiek binnen ± 3 db tussen 50—12.000 Hz bij een bandsnelheid van $7\frac{1}{2}$ ” per seconde.

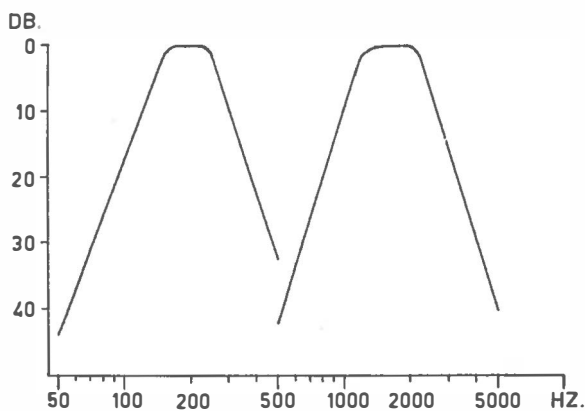


Fig. 14.

Filterkarakteristieken van de octaafilters voor de instelling op 140—280 Hz en 1128—2256 Hz.

HET TESTMATERIAAL

Door middel van bovenbeschreven apparatuur en opstelling werden twee „spraakbanden” verkregen, afkomstig van dezelfde spraak en die respectievelijk discantzonecomponenten en baszonecomponenten uit de spraak bevatten.

De testwoorden werden op 1 m afstand voor het kunsth hoofd door een mannenstem op normale conversatietoon in een geluidarme ruimte gesproken. Dit geschiedde op een zo constant mogelijk intensiteitsniveau, gecontroleerd met een geluidsniveaumeter van de General Radio Company type 1551-A.

Alleen van de „hoge” spraakband met de discantzonecomponenten kon een behoorlijke verstaanbaarheid verwacht worden (zie fig. 6). Om deze evenwel nog te verhogen, werden als testwoorden uitsluitend spondae-woorden gekozen. Dit zijn twee-lettergrepige woor-

den, waarvan beide lettergrepen gelijk beklemtoond worden. Bekend is immers, dat spondae-woorden onder normale omstandigheden reeds gemakkelijker verstaan worden dan één-lettergrepige woorden. Door het gebruik van spondae-woorden zal het articulatiepercentage in de hoge spraakband dus boven het in fig. 6 aangegeven articulatiepercentage voor woorden van een P.B. lijst uit kunnen komen.

Om de verstaanbaarheid nog verder op te voeren, werden de woorden, waarvan bleek, dat belangrijke componenten buiten of op de rand van het doorgelaten frequentiegebied lagen en daardoor niet verstaanbaar waren, uit de woordlijsten weggelaten.

Zo ontstonden 6 lijsten van ieder 24 spondae-woorden (zie bijlage blz. 80) van zodanige klankkleur, dat deze woorden in het doorgelaten frequentiegebied van 1128—2256 Hz, allen goed verstaan konden worden, mits voldoende luid aangeboden.

De articulatiecurve van de hoge spraakband alléén liep dus bij voldoende intensiteit door tot 100 % verstaanbaarheid. Dit was van belang, opdat de toekomstige bepalingen van het articulatiepercentage voor gezamenlijke aanbidding van de beide spraakbanden op een gunstig verstaanbaarheidsniveau gebracht zouden kunnen worden. Verschillen in verstaanbaarheid kan men namelijk gemakkelijker en betrouwbaarder vaststellen, indien deze vallen op een niveau om en bij de 50 % verstaanbaarheidsdrempel.

Samenvattende kan gezegd worden, dat het testmateriaal bestond uit twee spraakbanden, die tegelijkertijd, in natuurlijke samenhang doch afzonderlijk van elkaar, op de magnetische band van een tweekanalige taperecorder waren vastgelegd.

De beide spraakbanden, afkomstig van dezelfde spraak, bevatten respectievelijk de in het octaafgebied van 1128—2256 Hz doorgelaten frequenties en de in het octaafgebied van 140—280 Hz doorgelaten frequenties. De „hoge” spraakband bevatte dus alleen discantzone-componenten van een woord en de „lage” spraakband alleen baszone-componenten van datzelfde woord.

Met de hoge spraakband kon een articulatiepercentage van 100 % bereikt worden. De lage spraakband daarentegen was onverstaanbaar.

II. Met het verkregen testmateriaal kan bij normaalhorende proefpersonen de verstaanbaarheid bepaald worden bij combinatie van de twee spraakbanden.

Door de band van de tweekanale taperecorder af te spelen, passeerden via twee gescheiden kanalen weer respectievelijk de hoge en de lage spraakband. Via een keuze-schakelaar vóór de luidsprekers konden de beide spraakbanden samengevoegd worden en aan één oor aangeboden worden (monauraal), of de beide spraakbanden gescheiden gehouden worden en elk afzonderlijk aan één oor aangeboden worden (dichotisch).

Omdat het in het bijzonder te doen was om de invloed van een gestoorde energiebalans te onderzoeken, werden in beide kanalen nog decibelafzwakkers tussen geschakeld, zodat de beide spraakbanden ieder afzonderlijk op elk gewenst intensiteitsniveau ingesteld konden worden.

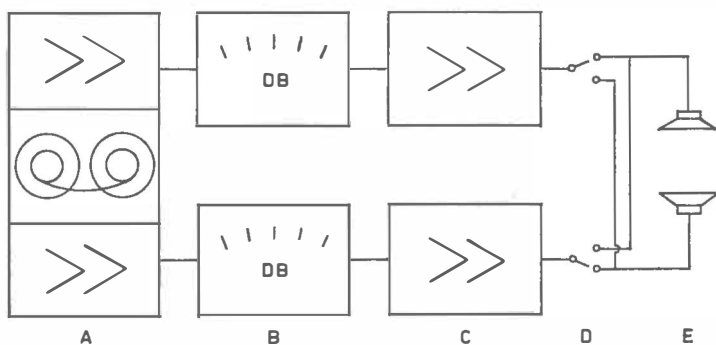


Fig. 15.

Blokschema van de afspelapparatuur.

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| A = Tweekanale taperecorder. | B = Decibelafzwakker. |
| C = Versterkers. | D = Keuze-schakelaar. |
| E = Luidsprekers. | |

Fig. 15 geeft het blokschema van de afspelapparatuur weer. De apparatuur bestond uit:

- Tweekanale taperecorder.* Hiervoor werd hetzelfde apparaat gebruikt als in fig. 13 aangegeven is voor de opname van het testmateriaal en op blz. 50 onder D beschreven is.
- Versterkers.* In elk kanaal werd een versterker type 20 A van de firma Peekel geplaatst. Deze versterkers zijn van hoge kwaliteit en hebben een gelijkmatige frequentiecarakteristiek van 20—6000 Hz binnen $\pm 0,5$ db (en tot 20.000 Hz binnen 1 db). Door het gebruik van deze versterkers kon vervorming wor-

den voorkomen, die anders bij een noodzakelijke verhoging van de output van de tweekanalige taperecorder zou zijn opgetreden. Bovendien zijn in deze versterkers decibelafzwakkers ingebouwd, zodat de versterking van de beide spraakbanden, gemeten ten opzichte van het internationaal nulniveau in overeenstemming kon worden gebracht met de schalen van de decibelafzwakkers onder C.

- C. *Decibelafzwakkers*. Als afzwakker diende het type B 227 van de firma M. P. Pedersen. Het intensiteitsbereik van deze afzwakker is in stappen van 5 db verdeeld van 0—120 db. Op de beide schalen was voor de respectievelijke spraakbanden het juiste intensiteitsniveau direct af te lezen. Hiermee konden de beide spraakbanden gemakkelijk ieder afzonderlijk op elk gewenst intensiteitsniveau ingesteld worden.
- D. *Luidsprekers*. Voor de geluidswaergave werden dezelfde bolluidsprekers van de firma M. P. Pedersen gebruikt als naar aanleiding van fig. 5 op blz. 32 onder D beschreven. De schakeling vóór de luidsprekers geeft de mogelijkheid van monaurale en dichotische aanbidding weer.

GANG VAN ZAKEN BIJ HET ONDERZOEK

De beide spraakbanden werden aan normaalhorende proefpersonen aangeboden, bij wie eerst een toondrempelaudiogram werd opgenomen.

Als proefpersonen traden op een aantal medische studenten, die geen van allen ervaring hadden in spraakaudiometrisch onderzoek. Het is bij een dergelijk onderzoek, waar het gaat om meting van subjectieve waarden, van groot belang, dat de samenstelling van de groep proefpersonen zo homogeen mogelijk is. Intelligentie, concentratievermogen en psychologische factoren zijn, evenals een zekere mate van training, van invloed op de uitslag van het onderzoek.

Bij de aanvang van het onderzoek werd ruimschoots de tijd genomen om de proefpersoon te instrueren en in te lichten, wat van hem verlangd werd. Als inleiding tot het onderzoek werden de twee spraakbanden van ten minste één woordlijst op onderling verschillende intensiteitsniveau's monauraal en dichotisch aangeboden. Nadat op deze wijze de proefpersoon een indruk had gekregen van de gang

van zaken bij het onderzoek, werd gestopt en de instructie zo nodig nog eens met hem besproken.

Daarna begon het eigenlijke onderzoek. De proefpersoon nam plaats tussen de beide bolluidsprekers en wel, om niet afgeleid te worden, met de rug naar de apparatuur en de onderzoeker gekeerd. Van de door de proefpersoon nagezegde woorden werden de goede antwoorden door de onderzoeker op de voor hem liggende woordlijst aangestreept.

Het articulatiepercentage werd steeds bepaald na aanbidding van de twee spraakbanden van een volledige woordlijst. Bij een volgende woordlijst werd de intensiteitsverhouding van de beide spraakbanden gewijzigd en het articulatiepercentage opnieuw bepaald.

De aanbidding van de twee spraakbanden op de ingestelde verschillende intensiteitsniveau's geschiedde zowel monauraal als dichotisch.

Met het oog op de tijdsduur en optredende vermoeidheid van de proefpersoon en om te vermijden, dat kort na elkaar dezelfde woordlijsten gebruikt moesten worden, werd het onderzoek over twee zittingen verdeeld met een tussenruimte van een week. Tijdens de eerste zitting werden de spraakbanden dichotisch aangeboden, bij de tweede zitting volgde de monaurale aanbidding. Bij de tweede zitting bleek een mogelijke door de proefpersoon inmiddels verworven bekendheid met de woordlijsten niet te bestaan en zou overigens, door de volgorde van aanbidding (eerst dichotisch, daarna monauraal), de resultaten van het onderzoek niet gunstig hebben kunnen beïnvloeden.

RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

Allereerst zullen de twee spraakbanden van respectievelijk 140—280 Hz en 1128—2256 Hz afzonderlijk beschouwd worden, om een vergelijking met de gezamenlijke aanbidding van de beide spraakbanden mogelijk te maken.

De lage spraakband alléén was, ook bij aanbidding op hogere intensiteiten, onverstaanbaar voor de normaalhorende proefpersonen.

De hoge spraakband alléén was daarentegen wel goed te verstaan. Van deze spraakband kon door aanbidding op verschillende intensiteiten een articulatiecurve gemaakt worden (fig. 16).

Hieraan valt op te merken, dat deze curve, ten opzichte van de articulatiecurve voor normale spraak:

1. een minder steil verloop heeft;
2. naar rechts verschoven is.

Het minder steile verloop vindt zijn oorzaak in het feit, dat een smalle spraakband van 1128—2256 Hz, hoewel nog verstaanbaar, toch sterk verminkte spraak is. De steilheid van de curve is immers, behalve van het gebruikte testmateriaal (éénlettergrepen, woorden, spondae-woorden of zinnen), afhankelijk van de kwaliteit van de aangeboden spraak.

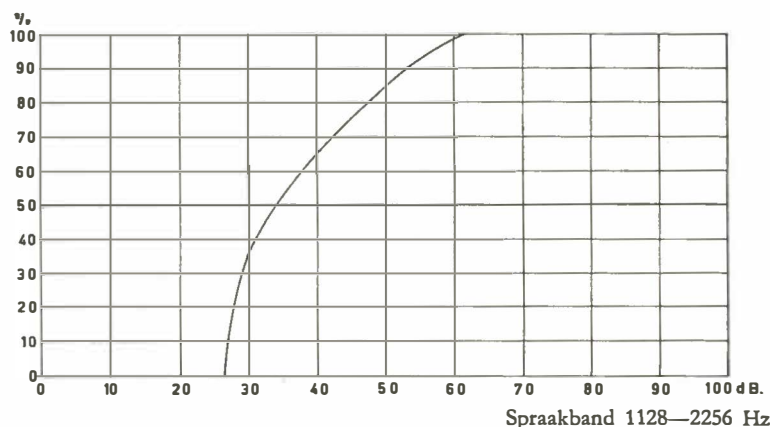


Fig. 16.

Articulatiecurve van de spraakband van 1128—2256 Hz.

De verschuiving naar rechts is begrijpelijk, wanneer men bedenkt, dat een spraakband van 1128—2256 Hz, in tegenstelling tot normale spraak, de bascomponenten mist, waarvan we weten, dat zij vooral bijdragen aan de intensiteit van de spraak.

Een spraakband, die alleen middenzonecomponenten bevat, moet, om hetzelfde articulatiepercentage te bereiken, noodzakelijkerwijs op een hoger intensiteitsniveau aangeboden worden dan de spraak, die het gehele spectrum bestrijkt.

Hier komt de verschillende kwalitatieve functie van de spraakcomponenten, die respectievelijk in de baszone en de middenzone van de toonschaal zijn gelegen en waarover in hoofdstuk IV reeds werd gesproken, nog eens naar voren. De volgende gezamenlijke aanbieding van de hoge en lage spraakband geeft hiervan een duidelijke demonstratie.

In fig. 17 is de articulatiecurve verkregen bij verschillende intensiteiten van de hoge spraakband onder gelijktijdige *monaurale* aanbieding van de lage spraakband op een constant intensiteitsniveau van 55 db afgebeeld.

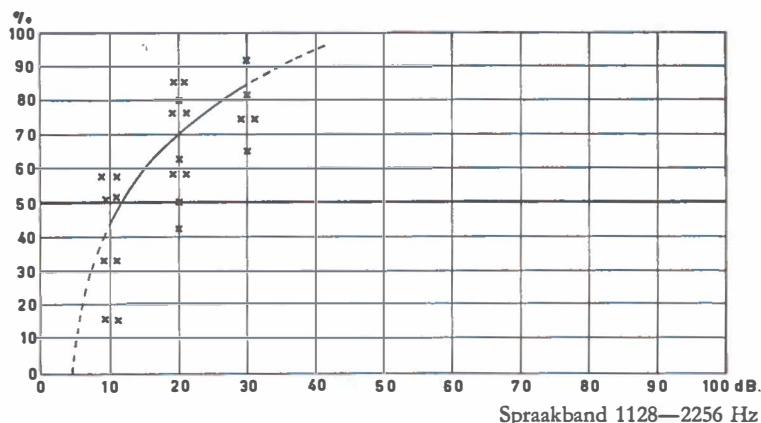


Fig. 17.

Articulatiecurve van de spraakband 1128—2256 Hz onder gelijktijdige *monaurale* aanbieding van de spraakband 140—280 Hz, de laatste op een constant intensiteitsniveau van 55 db.

Aan de hand van deze curve zullen wij nu één bepaald geval nader bespreken, namelijk dat van aanbieding van de hoge spraakband op 20 db en de lage spraakband op 55 db.

Eerst wordt alleen de hoge spraakband aan één oor aangeboden en de intensiteit zoveel afgezwakt tot een niveau van 20 db bereikt wordt, op welk niveau deze spraakband niet meer verstaanbaar is. Daarna wordt de lage spraakband, ingesteld op een niveau van 55 db, eveneens aan hetzelfde oor aangeboden.

Uit de grafiek van fig. 17 volgt, dat de combinatie van deze twee spraakbanden, die dus elk op zichzelf onverstaanbaar zijn, een redelijke verstaanbaarheid geeft met een articulatiepercentage van 70 %.

Blijkbaar is het zó, dat de voor het verstaan onvoldoende intensiteit van de hoge spraakband gecompenseerd kan worden door de lage spraakband op een bijpassend intensiteitsniveau aan de hoge spraakband toe te voegen.

De betekenis van de lage spraakband ligt dus in het feit, dat deze de

voor verstaanbaarheid benodigde „intensiteit” verschaft. Behalve een voldoende intensiteit, is voor de verstaanbaarheid van spraak een mogelijkheid voor discriminatie van spraakprikkel noodzakelijk. Dit laatste is mogelijk uit de informatie, die de discantzonecomponenten uit de hoge spraakband aan het cerebrum leveren. Deze informatie berust op de in ons voorbeeld relatief kleine energief fluctuaties, die in de discantzone van de toonschaal zijn gelegen. Voor voldoende verstaanbaarheid dienen zij als het ware „gedragen” te worden door een zekere hoeveelheid energie, die door de baszonecomponenten verschaft wordt.

Wanneer wij de articulatiecurve van fig. 17 voor de aanbieding van de beide spraakbanden nog eens beschouwen en vergelijken met de articulatiecurve voor de hoge spraakband alléén (fig. 16), dan is duidelijk de verschuiving naar links te zien. Dit wordt mogelijk gemaakt, doordat de lage spraakband de benodigde intensiteit „inbrengt”.

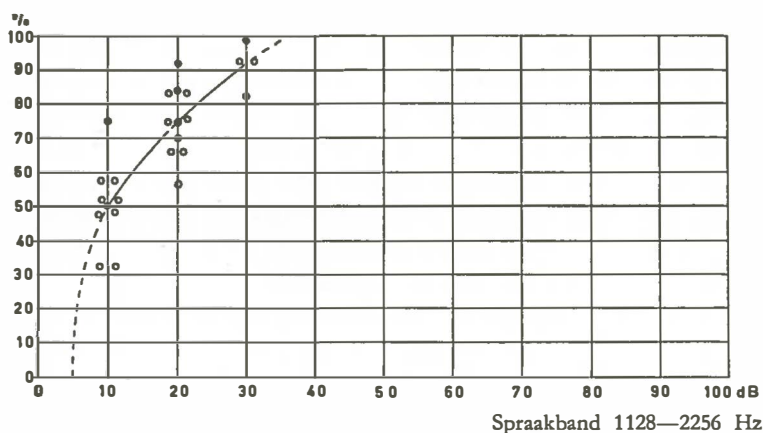


Fig. 18.

Articulatiecurve van de spraakband 1128—2256 Hz onder gelijktijdige *dichotische* aanbieding van de spraakband 140—280 Hz, de laatste op een constant intensiteitsniveau van 55 db.

Fig. 18 geeft de articulatiecurve weer voor *dichotische* aanbieding van de beide spraakbanden, eveneens met een constant intensiteitsniveau van 55 db voor de lage spraakband.

Opmerkelijk is, dat deze curve een nagenoeg gelijk verloop heeft aan de curve in fig. 17, die betrekking heeft op de monaurale aanbieding

ding. De geringe afwijkingen, die er bij vergelijking bestaan, zouden wij niet als reële verschillen willen zien. Bij een dergelijk onderzoek met vrij sterk verminkte spraak is een vrij grote spreiding van de uitkomsten bij de verschillende proefpersonen niet ongewoon. Bij de beoordeling van de gemiddelden moet dan ook met een ruime marge van mogelijke afwijking rekening worden gehouden.

De beide curven van fig. 17 en 18 beschouwende, mag men echter wel opmerken, dat de verstaanbaarheid van de twee spraakbanden bij dichotische aanbieding in ieder geval niet slechter is dan bij monaurale aanbieding.

Hieraan is te zien, hoe opmerkelijk goed de beide gehoororganen kunnen samenwerken bij aanbieding van twee verschillende prikkels, ieder aan één oor. De beide prikkels smelten samen en vormen één gewaarwording (binaurale integratie).

De bij de natuurlijke samenhang behorende juiste *tijdsrelatie* van de beide spraakbanden is gebleken van groot belang te zijn. Dit werd duidelijk, wanneer in één van de kanalen uit het blokschema van fig. 15 een apparaat*) werd tussengeschakeld, waarmee een tijdvertraging van de ene spraakband ten opzichte van de andere ingesteld kon worden. Reeds bij een tijdvertraging van 50 milliseconde in één van de kanalen was een bemoeilijkte binaurale integratie merkbaar en bij een vertraging van 200 milliseconden was deze zodanig, dat de verstaanbaarheid nihil was. De voor de verstaanbaarheid vereiste juiste tijdsrelatie tussen de beide spraakbanden geldt uiteraard zowel voor dichotische als voor monaurale aanbieding.

Zoals gezegd, werd bij de verschillende aanbiedingen het intensiteitsniveau van de lage spraakband *constant* gehouden, terwijl de intensiteit van de hoge spraakband varieerde. De intensiteitsverhouding tussen de beide spraakbanden werd dus *niet* constant gehouden. Dit vormt echter bij de dichotische aanbieding geen beletsel voor het tot stand komen van de binaurale integratie, hetgeen blijkt uit het gelijke verloop van de articulatiecurve in fig. 17 en 18 voor respectievelijk monaurale en dichotische aanbieding. In tegenstelling tot de tijdsrelatie is dus de intensiteitsrelatie tussen de twee spraakbanden niet van invloed op het proces van de binaurale integratie.

Bij de tot dusver beschreven aanbiedingen met een constant intensiteitsniveau van 55 db voor de lage spraakband hadden wij te maken

*) Hiervoor werd gebruikt het Echo-vox Sr. apparaat van Kay Electric Company.

met betrekkelijk geringe intensiteitsverschillen tussen de twee spraakbanden.

Om de verstaanbaarheid ook bij grotere intensiteitsverschillen na te kunnen gaan, hebben wij in de volgende aanbiedingen de lage spraakband op een hoger intensiteitsniveau aangeboden en het resultaat bij monaurale en dichotische aanbieding weer met elkaar vergeleken.

De verstaanbaarheid werd nu bepaald als functie van de intensiteit van de hoge spraakband en de gelijktijdig aangeboden lage spraakband op een constant intensiteitsniveau van 75 db. In fig. 19 zijn de verkregen articulatiecurven voor monaurale en dichotische aanbieding weergegeven.

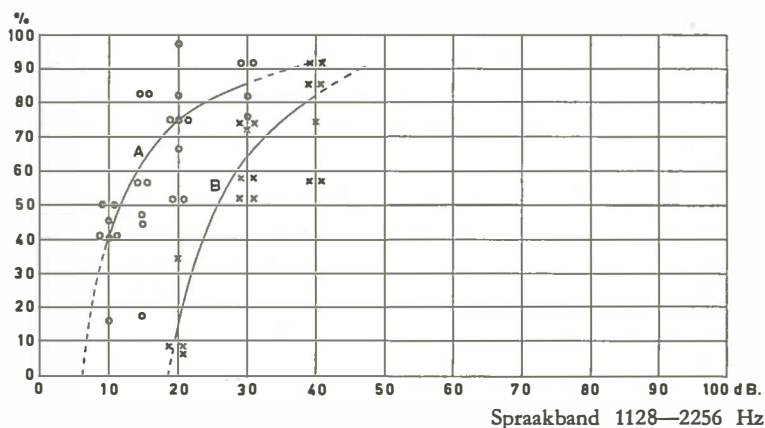


Fig. 19.

Articulatiecurven van de spraakband 1128—2256 Hz onder gelijktijdige aanbieding van de spraakband 140—280 Hz, de laatste op een constant intensiteitsniveau van 75 db.

A = Dichotische aanbieding. B = Monaurale aanbieding.

Aan de hand daarvan zullen wij eerst weer één bepaald geval daaruit bespreken. Wij nemen hiervoor het geval van aanbieding van de hoge spraakband op 20 db samen met de lage spraakband op 75 db, om aan te sluiten met het op blz. 56 besproken geval van aanbieding in de verhouding hoog 20 db/laag 55 db.

De monaurale aanbieding van de spraakbanden in de verhouding hoog 20 db/laag 75 db geeft een articulatiepercentage van 10 %, ter-

wijl na overschakeling op dichotische aanbieding, zonder dus iets aan de intensiteitsverhouding te veranderen, een articulatiepercentage van 75 % bereikt wordt.

Hier treedt dus een duidelijk verschil op in het resultaat voor monaurale en dichotische aanbieding, hetgeen niet te zien was bij aanbieding in de verhouding hoog 20 db/laag 55 db. Het verschil ligt in de daling van het articulatiepercentage van 75 % voor de monaurale aanbieding in de verhouding hoog 20 db/laag 55 db. tot 10% voor de verhouding hoog 20 db/laag 75 db.

Deze daling van het articulatiepercentage bij monaurale aanbieding door vergroting van het intensiteitsverschil van de beide spraakbanden, wijst op een optredende maskering van de spraakcomponenten uit de hoge spraakband, door de sterkere componenten uit de lage spraakband. Dit wordt bevestigd door de belangrijk betere verstaanbaarheid, die bereikt wordt bij *dichotische* aanbieding, indien hetzelfde verschil gehandhaafd wordt. Nu worden de sterke „lage” spraakcomponenten aan het andere oor aangeboden, zodat geen maskering van de „hoge” spraakcomponenten in het contralaterale oor kan optreden.

Beschouwen wij nog eens de articulatiecurven van fig. 19, dan valt op te merken, dat – in tegenstelling tot de beide articulatiecurven, die betrekking hebben op een intensiteit van 55 db voor de lage spraakband (vgl. met fig. 17 en 18) – de monaurale curve nu belangrijk rechts ligt van de dichotische curve, waaruit volgt, dat:

- a. bij monaurale aanbieding een *hogere* intensiteit van de hoge spraakband noodzakelijk is om hetzelfde articulatiepercentage te bereiken dan bij dichotische aanbieding.

Of anders bezien:

- b. bij een bepaalde gestoorde intensiteitsverhouding tussen de beide spraakbanden is bij monaurale aanbieding het articulatiepercentage *lager* dan bij dichotische aanbieding in dezelfde intensiteitsverhouding.

De verschillen tussen de articulatiecurven voor monaurale en dichotische aanbieding zijn nog duidelijker bij bepaling van de verstaanbaarheid als functie van de intensiteit van de hoge spraakband en de tegelijkertijd aangeboden lage spraakband op een constant intensiteitsniveau van 95 db (fig. 20).

De monaurale curve van fig. 20 is in vergelijking met de vorige curve van fig. 19 verder naar rechts verplaatst, als gevolg van de nog grotere maskerende werking van de lage spraakband op de hoge spraakband.

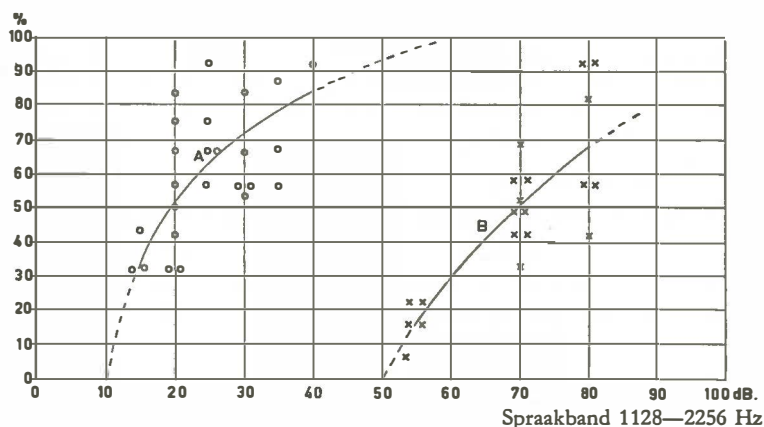


Fig. 20.

Articulatiecurven van de spraakband 1128—2256 Hz onder gelijktijdige aanbieding van de spraakband 140—280 Hz, de laatste op een constant intensiteitsniveau van 95 db.

A = Dichotische aanbieding. B = Monaurale aanbieding.

De curve voor de dichotische aanbieding is iets naar rechts verschoven in vergelijking met de vorige dichotische curven. Door de hoge intensiteit van de lage spraakband begint nu blijkbaar enige contralaterale maskering op te treden. Als gevolg hiervan moet de hoge spraakband nu meer versterkt worden.

Men kan zich het geval voorstellen, dat door contralaterale maskering de hoge spraakband zoveel versterkt moet worden, dat een intensiteitsniveau bereikt wordt, waarop de hoge spraakband reeds op zichzelf verstaanbaar is. In dat geval zal men ook kunnen verstaan door zich geheel op één oor te concentreren en zich als het ware „af te sluiten” van het andere oor, waar de lage spraakband wordt aangeboden. Deze laatste kan dan als ongewenst geluid beschouwd worden.

De resultaten van de bovenbeschreven aanbiedingen in zijn geheel overziende, kunnen daaraan de volgende conclusies verbonden worden:

1. Een verstoring van de energiebalans tussen de beide spraakbanden veroorzaakt bij monaurale aanbieding een snelle daling van het articulatiepercentage.
2. Bovenstaande is het gevolg van in het perifere gehoororgaan optredende maskering van de spraakcomponenten uit de hoge spraakband door de componenten uit de lage spraakband.
3. De binaurale integratie, zonder welke bij dichotische aanbieding geen verstaanbaarheid tot stand kan komen, wordt niet gestoord door een abnormale intensiteitsverhouding tussen de beide spraakbanden.
4. Bij dichotische aanbieding blijft de verstaanbaarheid ondanks een gestoorde intensiteitsverhouding goed, omdat als gevolg van de aanbieding van de lage spraakband aan het contralaterale oor geen maskering optreedt.

Teneinde de monaurale en dichotische articulatiecurven uit de figuren 17, 18, 19 en 20 nog eens onderling te vergelijken, werden de 50 % verstaanbaarheidsdrempels in een curve uitgezet in fig. 21.

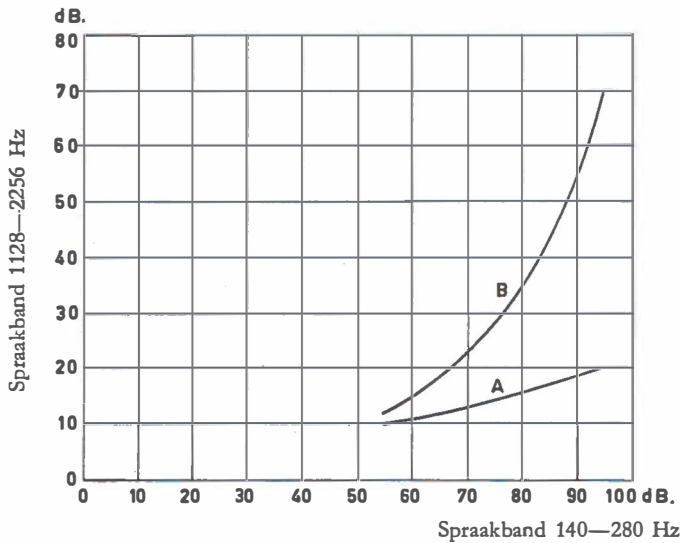


Fig. 21.

50 % verstaanbaarheidsdrempels voor de spraakband 1128—2256 Hz als functie van de intensiteit van de spraakband 140—280 Hz.
 A = Dichotische aanbieding. B = Monaurale aanbieding.

Hierin is weergegeven de intensiteit van de hoge spraakband, die nodig is om 50 % verstaanbaarheid te bereiken als functie van de intensiteit van de lage spraakband.

Uit deze curven is duidelijk te zien, dat bij dichotische aanbieding, zelfs bij hoge intensiteiten van de lage spraakband, met een geringe intensiteit van de hoge spraakband volstaan kan worden om een articulatiepercentage van 50 % te bereiken. En wel omdat, *dank zij* de gescheiden aanbieding, geen maskering van de hoge spraakband kan optreden en *ondanks* de gescheiden aanbieding, door binaurale integratie, toch één gewaarwording tot stand komt.

Bij *monaurale* aanbieding is daarentegen door optredende maskering aanzienlijk meer intensiteit van de hoge spraakband nodig om 50 % verstaanbaarheid te bereiken. Opmerkelijk is de zeer snelle stijging, die de monaurale curve in fig. 21 vertoont. Deze stijging is namelijk van die aard, dat zij impliceert, dat bij toenemende intensiteit van de lage spraakband het intensiteitsverschil tussen de beide spraakbanden niet constant kan blijven, doch kleiner moet worden om het articulatiepercentage van 50 % te handhaven. Mogelijk kan hiervoor een relatief slechtere verstaanbaarheid van de hoge spraakband op hogere intensiteit, als gevolg van optredende objectieve vervorming, verantwoordelijk zijn. Meer waarschijnlijk is echter de snelle stijging van de curve het gevolg van een toenemend maskeringseffect bij hogere intensiteiten van de maskerende prikkel, in casu van de lage spraakband, door uitbreiding van de maskerende werking in het hoger gelegen frequentiegebied.

Hoofdstuk VI

SLOTBESCHOUWING

Tenslotte willen wij nagaan, welke perspectieven het beschreven onderzoek biedt voor de toepassing van versterking in gevallen van perceptiedoofheid met een aflopende hoordrempel.

In een dergelijk geval immers, waarbij de hoordrempel in de zona acuta meer verhoogd is dan in de zona gravis, zal zich in het gehoororgaan subjectief een verstoring van de energiebalans voordoen, die analoog is aan die, welke in het verrichte onderzoek kunstmatig door middel van filters werd aangebracht. Wij hebben gezien, dat daarbij een maskering van de spraakcomponenten in de zona acuta kan optreden, waardoor de verstaanbaarheid van de spraak ongunstig beïnvloed wordt.

Van praktisch belang is nu de vraag bij welke helling van het drempelaudiogram er een maskering van de discantzonecomponenten begint op te treden.

Wanneer wij de monaurale maskeringscurven voor zuivere tonen in fig. 9 nog eens beschouwen, dan zien wij, dat een toon van 200 Hz op een intensiteitsniveau van 40 db een toon van 1400 Hz begint te maskeren. Met andere woorden over een afstand van ongeveer 3 octaven hoger in de toonschaal treedt bij een intensiteitsverschil van 40 db nog maskering op, hetgeen men dus ook kan verwachten bij een aflopend drempelaudiogram met een helling van ongeveer 13 db per octaaf. Dit geldt dus voor zuivere tonen en kan uiteraard niet op één lijn gesteld worden met maskering van spraakcomponenten in de zona acuta door spraakcomponenten in de zona gravis. Wat dit laatste betreft, kunnen wij zien naar de resultaten van het in hoofdstuk V beschreven onderzoek. Daaruit blijkt onder andere dat, wanneer er bij een „overall”-intensiteit van 75 db een (objectief) intensiteitsverschil van 45 db tussen de „lage” en de „hoge” spraakband bestaat, in het

normale gehoororgaan een maskering van de discantzonecomponenten optreedt. Nu bestaat er normaliter reeds een fysiologisch intensiteitsverschil van 20 db tussen de beide spraakbanden, zodat men in bovenstaand geval kan spreken van een verzwakking van de „hoge” spraakband van $45 - 20 = 25$ db. Dit zou dus betekenen, dat men in een gehoororgaan met een drempelverhoging van 25 db of meer in de discantzone en een normale hoordrempel in de baszone een begin van maskering van de discantzonecomponenten kan verwachten. Gezien de afstand van 3 octaven tussen de lage spraakband van 140—280 Hz en de hoge spraakband van 1128—2256 Hz komt dit neer op een helling van het drempelaudiogram van ongeveer 8 db per octaaf. Men moet hierbij echter wel bedenken, dat het bovenstaande betrekking heeft op een normale luidheidsfunctie boven de hoordrempel (het onderzoek werd immers verricht aan normaalhorende proefpersonen). Een eventuele verandering van de luidheidsfunctie, zoals bij regressie, zal uiteraard zijn invloed doen gelden op de gevolgen van een verstoring van de energiebalans.

Bovendien is bij een grotere „overall”-intensiteit van de spraak de maskerende werking van de baszonecomponenten sterker, zodat er dan ook bij een geringere drempelverhoging in de discantzone toch reeds maskering kan optreden.

Er is dus moeilijk met enige nauwkeurigheid een bepaalde helling van het audiogram op te geven, waarbij beginnende maskering van de discantzonecomponenten optreedt, die voor alle gevallen en in alle omstandigheden geldt.

Op grond van het bovenstaande mag men echter wél aannemen, dat deze maskering zich bij een „overall”-intensiteit van de spraak van 75 db of meer en een normale luidheidsfunctie van het gehoororgaan bij een helling van het drempelaudiogram van ca. 10 db per octaaf reeds zal voordoen. Deze hoordrempelvorm kan men bij patiënten met een perceptiedoofheid veelvuldig waarnemen (presbycusis, congenitale doofheden, toxische aandoeningen).

Bij de toepassing van versterking in gevallen met een aflopend audiogram moet men dus terdege rekening houden met een vervorming van de spraakpatronen, die hierbij, tengevolge van de gestoorde energiebalans en de daarmee gepaard gaande maskering, kan optreden. Al naar gelang door de verstoring van deze balans meer of minder van de discantzonecomponenten uit de spraak voor

bijdrage tot de verstaanbaarheid verloren gaan, zal het werkzame aandeel van de discantzone worden ingekort, dat wil zeggen dat de bovengrens van de feitelijk nog tot de verstaanbaarheid bijdragende frequenties daalt. Afhankelijk van de helling van het audiogram zal deze bovengrens, die men de *effectieve bovengrens* kan noemen, naar de baszone verschoven worden.

Wanneer een volwassen patient door een dergelijke blijvende vorm van slechthorendheid getroffen wordt, wordt het cerebrum door de omstandigheden gedwongen zich voor het verstaan meer en meer te richten op de discriminatie van de componenten in het nog actief bijdragende deel van de toonschaal. In de loop der jaren kan dit leiden tot een verlies van het discriminatievermogen in de zona acuta, wier functie dan geleidelijk insluimert. Door toxische beschadiging door bepaalde geneesmiddelen kan zich dit ook in betrekkelijk korte tijd voltrekken.

Bovengenoemd verschijnsel is ons bekend uit de zogenaamde triplet-spraakaudiometrie (c.f. HUIZING, KRUISINGA EN TASELAAR), een methode van onderzoek, waarbij aan de patient drie verschillend gekleurde, doch elk voor zich nog verstaanbare, spraakbanden kunnen worden aangeboden, te weten een zona gravis van ongeveer 100—900 Hz, een zona media van ongeveer 900—1800 Hz en een zona acuta van ongeveer 1800—8000 Hz. Deze vorm van onderzoek leert ons namelijk, dat in het algemeen de discriminatieve functie het beste bewaard blijft in dat deel van de toonschaal, waar de gehoorscherppte het minste gestoord is. Triplet-audiometrie verschaft ons dus een inzicht in de zonale spreiding van de discriminatie. Dit gegeven is van grote betekenis voor de eventuele praktische waarde van selectieve versterking.

Toepassing van selectieve versterking is geïndiceerd in gevallen, die aan de volgende drie voorwaarden voldoen:

1. Een symmetrisch of licht asymmetrisch drempelaudiogram van *het aflopende type*.
2. Een helling van het audiogram van meer dan 10 db per octaaf.
3. Het zonale discriminatievermogen in het voor versterking in aanmerking komende gebied moet behouden zijn gebleven of door middel van hoortraining herstelbaar zijn.

Er zijn in dit verband verschillende vormen van selectieve versterking te onderscheiden:

1. Monaurale versterking in de zona acuta, waarbij het daardoor gelukt op één van beide oren de natuurlijke energiebalans te herstellen en de effectieve bovengrens omhoog te schuiven.
2. In asymmetrische gevallen een monaurale versterking in de zona acuta van het slechtste oor, terwijl aan het andere oor de gehoor-scherpte in de zona gravis nog zodanig goed is gebleven, dat centraal een integratie van de van beide oren afkomstige spraak-prikkels tot stand kan komen.
3. Binaurale versterking, waarbij aan het ene oor de zona gravis en aan het andere oor de zona acuta versterkt wordt.

Voor dit laatste geval werd in dit proefschrift dus de mogelijkheid van betere verstaanbaarheid aangetoond; dit geschiedde aan normaalhorenden met behulp van selectief gefilterde spraak en waarbij een bepaalde vorm van slechthorendheid werd nagebootst. Dit onderzoek zou op velerlei wijzen gevarieerd kunnen worden door een andere keuze en combinatie van de spraakbanden. Deze experimentele banden dienen daarbij een geringe breedte te hebben, opdat het overgangsgebied van onverstaanbaarheid naar verstaanbaarheid binnen het meetgebied valt. Dan toch komt het voordeel van dichotische aanbieding gemakkelijk aan het licht.

Onze gegevens, die ontleend zijn aan normaalhorenden mogen niet zonder meer op slechthorende patienten worden overgedragen. Niet alleen, dat de door ons kunstmatig samengestelde spraakpatronen niet in overeenstemming zijn met die, welke tengevolge van de drempel-audiogrammen bij patienten optreden, maar bij de slechthorende kan ook de luidheidsfunctie nog een rol van betekenis spelen. In de praktijk van de hoorprothese-aanpassing zijn de problemen daarom van meer gecompliceerde aard en zal ieder geval voor zich beoordeeld moeten worden. Omtrent één concreet geval wordt hier het volgende meegedeeld.

Fig. 22 laat het drempelaudiogram zien van een patient met een binnenoordoorfheid. Deze 43-jarige patient bezocht de polikliniek wegens de laatste zes à zeven jaar langzaam toenemende doofheidsklachten. Deze bestonden in hoofdzaak uit een slechte verstaanbaarheid van spraak, vooral in een groter gezelschap. Behalve het voorkomen van doofheid in de familie leverde de anamnese geen aanknopingspunten op voor de oorzaak van zijn doofheid. Waarschijnlijk

hadden wij te maken met een familiäre progressieve binnenoordeafheid. Het regressiesymptoom was licht positief. Deze patient werd onderzocht volgens de methode van de triplet-spraakaudiometrie. De woordverstaanbaarheid in ieder van de drie verschillende delen van de toonschaal bleek in de volgorde laag-midden-hoog respectievelijk 100 %, 90 % en 60 % te bedragen.

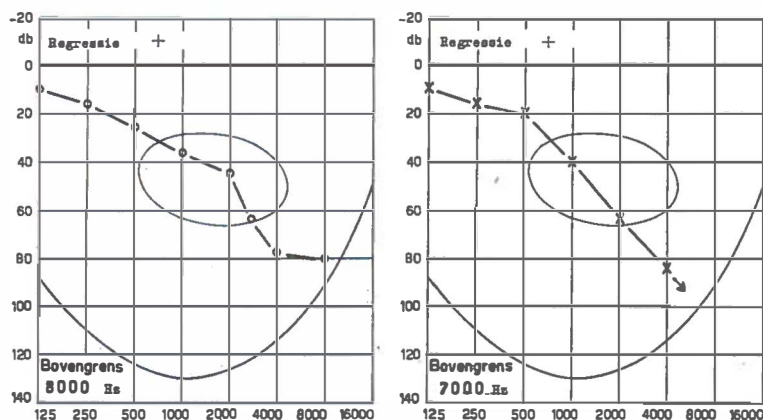


Fig. 22.
Drempelaudiogram van een patient met perceptiedoofheid.

Daarna volgde de aanbieding van de twee spraakbanden van 140—280 Hz en van 1128—2256 Hz, die ook bij ons onderzoek aan de normaalhorenden werden gebruikt.

Monaurale aanbieding van deze spraakbanden in de normale physiologische intensiteitsverhouding, aan het linker oor van deze patient, leverde een articulatiepercentage van 20 % op. Na overschakeling op dichotische aanbieding, in dezelfde intensiteitsverhouding, steeg het articulatiepercentage tot 70 %.

Voor practische toepassing van binaurale selectieve versterking is het niet noodzakelijk de aan de respectievelijke oren aan te bieden frequentiebanden zo smal te houden als de bij ons onderzoek gebruikte. Dit zou zelfs niet wenselijk zijn in verband met de objectieve vervorming en mede, omdat voor ruimtelijk horen aan beide oren ook gemeenschappelijke frequenties aangeboden moeten worden.

Kort geleden heeft de ontwikkeling van de hoorbril geleid tot de serie-fabricage van het binaurale hoortoestel. Hierdoor wordt sinds kort onze aandacht automatisch meer gericht op de binaurale prothese-aanpassing, ondanks het feit dat voor de monaurale prothese-aanpassing nog steeds geen algemeen aanvaarde normen bestaan.

Door deze binaurale apparatuur ontstaat ongewijfeld een grotere differentiatie in de aanpassingsmogelijkheden en dit geldt dus in het bijzonder, wanneer het zwaartepunt van de versterking in geheel verschillende delen van de toonschaal gelegd zou kunnen worden.

Het onderzoek over binauraal horen en de toepassing er van bij slechthorendheid is nog slechts in een allereerste beginstadium. Een uitgebreid gebied valt hier nog te onderzoeken, voordat wij in staat zullen zijn bij de daarvoor in aanmerking komende gevallen een verantwoorde binaurale selectieve versterking toe te passen.

SAMENVATTING

In dit proefschrift worden problemen besproken, die verband houden met de verminderde verstaanbaarheid van spraak bij perceptiedoofheid en een verbetering daarvan door toepassing van versterking. Naar aanleiding van het beschreven experimentele onderzoek naar de invloed van het aflopende drempelaudiogram op de spraakverstaanbaarheid, wordt in het bijzonder aandacht besteed aan de voordelen welke binauraal horen en binaurale versterking in gevallen van perceptiedoofheid kunnen hebben.

Na een verklaring van de in dit proefschrift gebruikte termen volgt in het eerste deel van *hoofdstuk I* een korte beschrijving van de algemene aspecten, die aan de toepassing van versterking bij perceptiedoofheid zijn verbonden. In het tweede gedeelte volgt een overzicht van de verschillende opvattingen, die in de loop der jaren bestaan hebben omtrent de meest wenselijke vorm van de frequentiekarakteristiek van een hoortoestel. Alhoewel met voldoening naar de tot dusver met een hoortoestel bereikte resultaten gezien kan worden, wordt voor een verdere verbetering gewezen op de mogelijkheid van een betere aanpassing van de versterking aan de eigenschappen van het pathologische gehoororgaan. Binaurale versterking biedt vooral in dit opzicht gunstige aspecten en heeft daarnaast de niet onbelangrijke voordelen van het binauraal-ruimtelijk horen.

In *hoofdstuk II* wordt het belang van stereophonisch horen nader besproken. Daarbij komen, behalve het richting- en afstandhoren, twee andere voordelen naar voren. In de eerste plaats een voordeel van psychische aard: door een normale ruimtelijke indruk van het geluid herwint de patient zijn ruimtelijk bewustzijn. In de tweede plaats een voordeel voor de spraakverstaanbaarheid. Vooral in omstandigheden met veel achtergrondgeluid is spraak bij stereophonisch horen veel gemakkelijker en veel beter te verstaan. Verschillende in de literatuur beschreven proeven hieromtrent worden vermeld.

In *hoofdstuk III* volgt een bespreking van de typische verschillen, die

er tussen geleidingsdoofheid en perceptiedoofheid bestaan en die voor de spraakverstaanbaarheid tot uiting komen in het spraakaudiometrisch onderzoek. Bij een zuivere geleidingsdoofheid is de verminderde verstaanbaarheid van spraak uitsluitend het gevolg van verminderde intensiteit door de hoordrempelverhoging. Bij perceptiedoofheid daarentegen speelt de verminderde intensiteit slechts ten dele een rol. In deze gevallen is de verminderde spraakverstaanbaarheid veelal het gevolg van een verminderde discriminatie. Incompleteheid van de spraakklanken en een in het perifere gehoororgaan optredende subjectieve vervorming van de spraakklanken zijn hiervoor in hoofdzaak verantwoordelijk. Als oorzaken van subjectieve vervorming worden achtereenvolgens besproken: 1. diplacusis, 2. vermoeidheid, 3. rekrutment, 4. de aflopende vorm van de hoordrempel. De aandacht wordt nu in het bijzonder op dit laatste punt gericht.

Voor een beter begrip van de aard van de bij het aflopende drempelaudiogram optredende vervorming volgt in *hoofdstuk IV* een bespreking van enkele fysisch-acoustische eigenschappen van spraak. Daarbij worden twee kwaliteiten van de spraak onderscheiden, die weliswaar niet geheel los van elkaar zijn te zien. In de eerste plaats bezit de spraak een zekere hoeveelheid energie en in de tweede plaats een bepaalde informatieve inhoud. De meeste energie van de spraak is gelegen in de baszone van de toonschaal en de aldaar gelegen spraakcomponenten zijn in hoofdzaak van belang voor de intensiteit van de spraak. In de discantzone komen een aantal relatief zwakke energievariëaties voor, die aan het oor de meeste informatie geven en in hoofdzaak van belang zijn voor de discriminatie.

Tussen de spraakcomponenten in de baszone en de discantzone bestaat een bepaalde energiebalans, die in het geval van een aflopend drempelaudiogram subjectief in het gehoororgaan verstoord zal worden. In een experiment met een tweekanalig circuit kon aangetoond worden, dat bij een gestoorde energiebalans een verminderde verstaanbaarheid van spraak optreedt door een ongunstige invloed van de baszonecomponenten op de discantzonecomponenten uit de spraak.

In *hoofdstuk V* wordt beschreven op welke wijze de invloed van een gestoorde energiebalans tussen bas- en discantzonecomponenten op de verstaanbaarheid van spraak door middel van een tweekanalig systeem op experimentele wijze nader onderzocht werd. Twee coherente spraakbanden, waarvan de ene alleen componenten uit de

baszone bevatte en de andere alleen componenten uit de discantzone, werden daartoe op onderling verschillende intensiteitsniveau's aan normaalhorende proefpersonen aangeboden. Daarbij werden de resultaten bij *monaurale* aanbidding (twee spraakbanden aan één oor) en *dichotische* aanbidding (elk van de beide spraakbanden aan een afzonderlijk oor) met elkaar vergeleken en in articulatiecurven uitgezet. Bij vergroting van de normale intensiteitsverhouding tussen de twee spraakbanden bleek bij monaurale aanbidding het articulatiepercentage snel te dalen als gevolg van een optredende maskering van de componenten uit de hoge spraakband door de componenten van de lage spraakband. Bij dichotische aanbidding in dezelfde intensiteitsverhoudingen kon door de aanbidding van de lage spraakband aan het andere oor geen maskering optreden en zagen wij het articulatiepercentage dan ook niet dalen.

In *hoofdstuk VI* wordt een beschouwing gewijd aan de perspectieven, welke toepassing van tweekanalige versterking biedt. Speciaal bij perceptiedoofheid met een aflopend drempelaudiogram en in gevallen met regressie kan van binaurale selectieve versterking een verbetering van de verstaanbaarheid van spraak verwacht worden, omdat daarmee afzonderlijk van elkaar baszonecomponenten en discantzonecomponenten, of wel kwalitatief gezien „intensiteit” en „discriminatie” op de juiste wijze op elkaar afgestemd kunnen worden.

SUMMARY

In this thesis some problems connected with decreased speech intelligibility in perception deafness and an improvement of this by means of amplification, are discussed. In connection with the described research into the influence of the sloping threshold audiogram on the speech intelligibility, special attention is paid to the advantages which binaural hearing and binaural amplification can have in cases of perception deafness.

After an explanation of the terms used in this thesis the first part of *chapter I* gives a short description of the general aspects connected with the use of amplification in perception deafness. In the second part a summary follows of the various ideas which have existed in the course of years about the most desirable shape of the frequency characteristic of a hearing aid. The results so far gained with hearing aids can be looked upon with satisfaction. For an even further improvement the possibility of a better fitting of the amplification characteristic to the qualities of the pathological auditory organ is pointed out. Binaural amplification presents favourable aspects especially in this respect and has, moreover, the important advantages of binaural spatial hearing.

In *chapter II* the importance of stereophonic hearing is discussed more fully. Besides hearing of direction and hearing of distance, two more advantages come to the front. In the first place an advantage of psychic origin; through a normal spatial impression of sound the patient regains his spatial awareness. Secondly an advantage for the speech intelligibility. Especially in circumstances with much ambient noise speech is much easier and better to understand with stereophonic hearing. Several tests described in literature on this subject are mentioned.

In *chapter III* a discussion follows of the typical differences existing between conductive and perceptive deafness, so far as they are found by means of speech audiometry. In pure conductive deafness the

decreased speech intelligibility is exclusively the result of reduced stimulation of the inner ear due to the threshold shift. In perception deafness, on the other hand, this reduced stimulation plays only a minor part. In these cases the decreased speech intelligibility is mostly the result of a reduced discrimination ability. Subjective distortion of speech sounds originating in the peripheral auditory organ, is mainly responsible for this. 1. Diplacusis, 2. fatigue, 3. recruitment, 4. the sloping type of the threshold curve, are discussed in succession as causes of this distortion. The attention is specially focussed to the last item now.

For a better understanding of the nature of the distortion connected with the sloping threshold audiogram *chapter IV* gives a discussion of some physical-acoustic speech data. Here two qualities of speech are distinguished, which indeed cannot be seen separately. Speech has in the first place a certain amount of energy and secondly a certain informative content. Most energy in speech lies in the bass zone of the pitch range. The speech components of this zone are mainly of importance for the intensity of speech. In the treble zone some relatively weak variations in energy occur, which give the most information to the ear and are mainly of importance for the discrimination.

Between the speech components in the bass zone and the treble zone a certain balance of energy exists, which will be disturbed subjectively in the auditory organ in the case of a sloping threshold audiogram. In an experiment with a two-channel circuit it was shown that, in cases with a disturbed energy balance, the speech intelligibility was reduced as a result of an unfavourable influence of the components of the bass zone on the components of the treble zone of speech.

In *chapter V* a description is given of the way in which the influence of a disturbed energy balance between the two groups of components of the bass and treble zone on the speech intelligibility was more fully tested in an experimental way by means of a two-channel system. For that purpose two coherent frequency bands of speech, one of which contained only components of the bass zone, whereas the other consisted only of components of the treble zone, were given to normal hearing subjects. In this the results with monaural stimulation (two speech bands to one ear) and dichotic stimulation (each of the two speech bands to a single ear) were compared and plotted out in an articulation-curve. In increasing the normal ratio of intensity between

the two bands of speech the articulation score proved to go down quickly with monaural stimulation as a result of a masking of the components of the high speech band by the components of the low one. With dichotic stimulation at the same intensity ratios no masking could appear because of presentation of the low speech band to the other ear; we did not see any fall in the articulation score either.

In *chapter VI* a discussion is given on the perspectives of the application of a two-channel amplification. Especially in perception deafness with a sloping threshold audiogram and in cases with recruitment, an improvement of the speech intelligibility can be expected from binaural selective amplification. In this way components of the bass zone and those of the treble zone or, qualitatively "intensity" and "discrimination", can separately be tuned to each other in the right way.

LITERATUUR

- BERG, J. VAN DEN – Physica van de stemvorming, met toepassingen. Dissertatie, Groningen (1953).
- BLEEKER, G. F. – Het aanpassen van hoorprothesen. Dissertatie, Groningen (1953).
- BOCCA, E. – Binaural hearing: another approach. *The Laryngoscope* (1955) 65, 1164.
- BOCCA, E. – Testing "cortical" hearing in temporal lobe tumors. *Acta Oto-Laryngologica* (1955) 45, 289.
- BOER, K. DE; VERMEULEN, R. – Een installatie voor een slechthorende. *Philips Technisch Tijdschrift* (1939) 4, 329.
- BOER, K. DE – Stereophonische geluidsweergave. Dissertatie, Delft, (1940).
- BORDLEY, J. E.; HASKINS, H. – The role of the cerebrum in hearing. *Annals of Otol.* (1955) 64, 370.
- BREAKY, M. R.; DAVIS, H. – Comparisons of thresholds for speech: word and sentence tests: receiver vs. field and monaural vs. binaural listening. *The Laryngoscope* (1949) 59, 236.
- BROADBENT, D. E. – A note on binaural fusion. *Quart. J. Exptl. Psychol.* (1955) 7, 46.
- BROADBENT, D. E.; LADEFOGED, P. – On the fusion of sounds reaching different sense organs. *J.A.S.A.* (1957) 29, 708.
- CAMP, R. T. – The effect of a dividing network on speech reception. U.S. Naval School of Aviation Medicine, Pensacola, Florida. Joint Project Report No. 52 (1955).
- CARHART, R. – The usefulness of the binaural hearing Aid. *J. S. H. D.* (1958) 23, 42.
- CHERRY, E. COLIN. – Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *J.A.S.A.* (1953) 25, 975.
- CHERRY, E. COLIN; TAYLOR, W. K. – Some further experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *J.A.S.A.* (1954) 26, 554.
- CHERRY, E. COLIN; SAYERS, BRUCE Mc.A. – Human "cross-correlator". A technique for measuring certain parameters of speech perception. *J.A.S.A.* (1956) 28, 889.
- CHOCOLLE, R. – La sensibilité auditive différentielle d'intensité en présence d'un son contralaterale de même fréquence. *Acustica* (1957) 7, 75.
- CRANDALL, J. B.; MACKENZIE, D. – Analysis of the energy distribution of speech. *Phys. Rev.* :1922; 19, 221.
- DAVIS, H. – The selection of hearing aids. *The Laryngoscope* (1946) 56, 85.
- DISHOECK, H. A. E. VAN – Masking, Fatigue, Adaption and Recruitment as stimulation phenomena of the inner ear. *Acta Oto-Laryngol.* (1953) 43, 167.
- DUNN, H. K.; WHITE, S. D. – Statistical measurements on conversational speech *J.A.S.A.* (1939/40) 11, 278.
- EGAN, J. P.; WIENER, F. M. – On the intelligibility of bands of speech in noise. *J.A.S.A.* (1946) 18, 435.
- EGAN, J. P. – The effect of noise in one ear upon the loudness in the other ear. *J.A.S.A.* (1948) 20, 58.
- EGAN, J. P.; CARTERETTE, E. C.; THWING, E. J. – Some factors affecting multi-channel listening. *J.A.S.A.* (1954) 26, 774.

- FLETCHER, HARVEY – Speech and hearing in communication. (1953) van Nostrand, New York.
- FRENCH, N. R.; STEINBERG, J. C. – Factors governing the intelligibility of speech sounds. J.A.S.A. (1947) 19, 90.
- GREINER, G. F.; LAFON, J. C. – La distorsion spatiale du test phonétique dans les dyslexies sans surdité et son utilisation dans le dépistage des surdités corticales. Les Annales d'Oto-Laryngologie: (1957) 74, 400.
- GREINER, G. F.; LAFON, J. C. – A propos de quelques cas d'electro myographie de la corde vocale chez l'homme. Les Annales d'Oto-Laryngologie (1958) 75, 23.
- GOOL, J. VAN – Experimentele studie betreffende enige gevolgen van geluidsinwerking op het menselijk gehoor. Dissertatie, Leiden 1952.
- GUBERINA, P. – L'audiometrie verbo-tonale. Revue de Laryngol. Otol. Rhinol. de G. Portmann (1956) 77, 20.
- HENNEBERT, D. – L'intégration de la perception auditive et l'audition alternante. Acta Otol. Belgica (1955) 9, 344.
- HIRSH, I. J. – Binaural summation and interaural inhibition as a function of the level of masking noise. The American Journal of Psychology (1948) 61, 205.
- HIRSH, I. J. – Binaural summation — a century of investigation. Psychological Bulletin. (1948) 45, 193.
- HIRSH, I. J.; POLLACK, I. – The role of interaural phase in loudness. J.A.S.A. (1948) 20, 761.
- HIRSH, I. J. – The influence of interaural phase on the interaural summation and inhibition. J.A.S.A. (1948) 20, 536.
- HIRSH, I. J. – The relation between localisation and intelligibility. J.A.S.A. (1950) 22, 196.
- HOTH, D. F. – Room noise spectra at subscribers telephone locations. J.A.S.A. (1940) 12, 499.
- HUIZING, H. C. – Die Bestimmung der Regression bei der Gehörprüfung und der physikalische, physiologische und psychologische Zusammenhang bei den Gehörprothese. Acta Oto-Laryngol. (1942) 30, 487.
- HUIZING, H. C. – The symptom of recruitment and speech intelligibility. Acta Oto-Laryngologica (1948) 36, 346.
- HUIZING, H. C. – The influence of subjective and objective distortion in hearing aids. Proc. IV Intern. Congress of Otolaryng. (1949) Vol. I, 83.
- HUIZING, H. C.; REIJNTJES, J. A. – Recruitment and speech discrimination loss. The Laryngoscope (1952) 62, 521.
- HUIZING, H. C.; KRUISINGA, R. J. H. – Nouvelles recherches dans le domaine de la voix chuchotée. Acta Otol. Belgica (1956) 10, 345.
- HUIZING, H. C.; KRUISINGA, R. J. H.; TASELAAR, M. – Triplet audiometrie. Rapports Société Internationale d'Audiologie, IVe Congrès, Padua (1958).
- HUIZINGA, EELCO – The whispered voice. Annals of Otol. Rhinol. Laryngology (1958) 67, 72.
- JATHO, K. – Die Beziehungen zwischen dem Lautstärkeausgleich und dem Energiespektrum der Sprachlaute. Arch. f. Ohren- usw. Heilkunde (1957) 170, 487.
- KNUDSEN, VERN. O. – An ear to the future. J.A.S.A. (1939) 11, 29.
- KOCK, W. E. – Binaural localisation and masking. J.A.S.A. (1950) 22, 801.
- KOENIG, W. – Subjective effects in binaural hearing. J.A.S.A. (1950) 22, 61.
- KRAUS, M. – Über das Erkennen der Schallrichtung. Arch. f. Ohren- usw. Heilkunde (1950) 157, 301.
- KRUISINGA, R. J. H. – Slechthorendheid en het verstaan van spraak. Dissertatie, Groningen 1955.

- LAFON, J. C. – La distorsion de la perception des phonèmes. *Revue de Laryngol. Otol. Rhinol.* de G. Portmann (1957) **78**, 239.
- LANGENBECK, B. – Geräusch audiometrische Diagnostik. *Arch. f. Ohren- usw. Heilkunde* (1950) **157**, 121.
- LERCHE, E. – Recruitment und Verdeckung im Tierexperiment. *Proc. First Int. Congr. in Audiologie* (1953) **64**.
- LICKLIDER, J. C. R. – Effects of amplitude distortion upon the intelligibility of speech. *J.A.S.A.* (1946) **18**, 429.
- LICKLIDER, J. C. R. – The influence of interaural phase relations upon the masking of speech by white noise. *J.A.S.A.* (1948) **20**, 150.
- LIGHTFOOT, C.; CARHART, R.; GAETH, J. H. – Masking of impaired ears by noise. *J.S.H.D.* (1956) **21**, 57.
- LOYE, D. P.; MORGAN, F. K. – *Journal Soc. mot. Pict. Engineers* (1939) **32**, 631.
- MARÉ, GÖRAN DE – Investigations into the functions of the auditory apparatus in perception deafness. *Acta Oto-Laryngologica* (1948) Suppl. **74**, 107.
- MASPETIOL, R.; ROBERT; SEMETTE – Le phénomène d'adaptation auditive. *La Presse Medicole* (1957) **49**, 1140.
- MATZKER, J. – Untersuchungen über die zentrale Synthese differenten Schallbilder beide Ohren. *Zeitschrift f. Laryng., Rhinol. u. Otol.* (1954) **33**, 296.
- MATZKER, J. – Zentrale Sprachaudiometrie. *Arch. f. Ohren- usw. Heilkunde* (1956) **169**, 373.
- MATZKER, J. – Ein neuer Weg zur otologischen Diagnostik zerebraler Erkrankungen. *Zeitschrift f. Laryng., Rhinol. u. Otol.* (1957) **177**.
- MATZKER, J. – Ein binauraler Hörsynthese-Test zum Nachweis Zerebraler Hörstörungen. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. (1958).
- MEDICAL RESEARCH COUNCIL – Hearing aids and audiometers. *Special Report Series* No. 261. (1947).
- MILLER, G. A. – Sensitivity to changes in the intensity of white noise and its relation to masking and loudness. *J.A.S.A.* (1947) **19**, 609.
- MILLER, G. A. – The masking of speech. *Psychol. Bull.* (1947) **44**, 105.
- MILLER, G. A. – *Language and communication* (1951). McGraw-Hill Book Cy. New York.
- MOL, H. – Physical and linguistic principles in the recognition of phonemes. *Proc. First Int. Congr. in Audiologie* 1953, 140.
- PALVA, T.; GOODMAN, A.; HIRSCH, I. J. – Critical evaluation of noise audiometry. *The Laryngoscope* (1953) **63**, 842.
- PESTALOZZI, G.; LAZZARONI, A. – Noise effect on speech perception in different types of deafness. *Proceedings First Int. Congress of Audiology. Leiden* (1953) **72**.
- PETERS, R. W. – Competing messages: the effect of interfering messages upon the reception of primary messages. U.S. Naval School of Aviation Medicine, Pensacola, Florida. Joint project report no. 27 (1954).
- PETERS, R. W. – The effect of high-pass and low-pass filtering of side-tone upon speaker intelligibility. U.S. Naval School of Aviation Medicine, Pensacola, Florida. Joint project report No. 25 (1954).
- POLIAKOFF, A. – Hearing aid design. *Wireless World* (1950) **56**, 274.
- POLIAKOFF, A. – The future of hearing aids. *Wireless World* (1953) **59**, 182.
- POLLACK, I.; PICKETT, J. M. – Stereophonic listening and speech intelligibility against noise babble. *J.A.S.A.* (1958) **30**, 131.
- PTACEK, P. H. – An experimental investigation of dichotic word presentation. *J.S.H.D.* (1954) **19**, 114.
- RADLEY, W. G. – Speech communication under conditions of deafness or loud noise. *Journal Inst. Electr. Engineers* (1948) **95**, 201.

- REIJNTJES, J. A. – Spraakaudiometrie. Dissertatie, Groningen 1951.
- SACIA, C. F.; BECK, C. J. – The power of fundamental speech sounds. *The Bell System Techn. Journ.* (1926) 5, 393.
- SAYERS, BRUCE Mc A.; CHERRY, E. C. – Mechanism of binaural fusion in the hearing of speech. *J.A.S.A.* (1957) 29, 973.
- SEDEE, G. A. – Over stereo-akoësie. Dissertatie, Utrecht (1957).
- SIEGENTHALER, B. M. – Thresholds for speech in the presence of interfering speech. *J.A.S.A.* (1955) 27, 1013.
- SMITH, S. L.; LICKLIDER, J. C. R. – Noneffect upon speech intelligibility of phase distortion produced by high-pass and low-pass filters. *J.A.S.A.* (1954) 26, 138.
- SPIETH, W.; CURTIS, J. F.; WEBSTER, J. C. – Responding to one of two simultaneous messages. *J.A.S.A.* (1954) 26, 391.
- SPIETH, W.; WEBSTER, J. C. – Listening to differentially filtered competing voice messages. *J.A.S.A.* (1955) 27, 866.
- STEINBERG, J. C.; GARDNER, M. B. – The dependence of hearing impairment on sound intensity. *J.A.S.A.* (1937) 9, 11.
- STEVENS, S. S.; DAVIS, H. – *Hearing, its psychology and physiology* (1938). J. Wiley and Sons, New York.
- STEVENS, S. S.; MILLER, J.; TRUSCOTT, I. – Masking of speech by waves and pulses. *J.A.S.A.* (1946) 18, 418.
- STEVENS, S. S. – *Handbook of experimental psychology* (1951). J. Wiley and Sons, New York.
- TOLHURST, G. C.; PETERS, R. W. – The effect of attenuating one channel of dichotic circuit upon the word reception of dual messages. *J.A.S.A.* (1955) 27, 1000.
- VEER, R. A. VAN DER – Enige onderzoeken over richting horen. Dissertatie, Amsterdam 1957.
- WALSH, T. E.; GOODMAN, A. – Speech discrimination in central auditory lesions. *The Laryngoscope* (1955) 65, 1.
- WATSON, N. A.; KNUDSON, V. O. – Selective amplification in hearing aids. *J.A.S.A.* (1939/40) 11, 406.
- WATSON, N. A. – Hearing aids: uniform and selective monaural, diotic and binaural. Air and bone conduction. *J.A.S.A.* (1942) 13, 335A.
- WEBSTER, J. C.; THOMSON, P. O. – Respond to both of two overlapping messages. *J.A.S.A.* (1954) 26, 396.
- WEBSTER, J. C.; SOLOMON, L. N. – Effects of response complexity upon listening to competing messages. *J.A.S.A.* (1955) 27, 1199.
- WEGEL, R. L.; LANE, C. E. – Auditory masking of pure tones. *Physical Review* (1924) 23, 266.
- WITTMANN, J. – Beiträge zur Analyse des Hörens bei dichotischer Reizaufnahme. *Archiv für gesamte Psychologie* (1925) 51, 21.
- ZWAARDEMAKER, H.; QUIX, F. H. – Spraakgehoor. *Ned. Tijdschr. v. Geneeskunde* (1904) 40, Deel II, 550.

BIJLAGE

Spondaelĳst No. I.

hoogveen	nooddeur
keelpĳn	polstok
kladschrift	lintworm
weeskind	koetsier
zoonlief	borstbeen
smeerpoes	stoelpoot
droogdok	boorgat
bisdom	boomblad
leunstoel	tentzeil
fietspomp	molshoop
kookpan	bloemknop
doortocht	theelicht

Spondaelĳst No. II.

wrijfwas	zoeklicht
klokslag	breitas
omkeer	bonloos
seinpost	booswicht
neuspunt	kaarsvet
rooilĳn	standbeeld
postbus	brandweer
houtvuur	leeslamp
roeiboot	knieschĳf
zandsteen	kunstmest
kunstoer	steenkool
zandgrond	borstbeen

Spondaelĳst No. III.

wolkbreuk	stukgoed
deelstreep	broodbon
bloedhond	hooischuur
boomschors	windbuds
voordeur	oorpijn
klĳmplant	bloemkool
kleurlĳng	stormwind
deurpost	knoopsgat
voetstuk	hoorspel
mĳkpunt	keerkring
zuurkool	zeestrand
vrijbrief	spoorrein

Spondaelĳst No. IV.

leerziek	huurlĳng
lĳnrecht	kiespijn
palmriet	rijzweep
zeurkous	teerton
geelzucht	beerput
voetstap	veerpont
bedstee	schĳetschĳf
schoenzool	deukhoed
buurman	zonlicht
bloedworst	deurknop
doelwit	boekweit
goudsmit	voorkeur

Spondaelijst No. V.

domoor	wenkbrauw
rietvink	lamplicht
rouwfloers	vloeiblad
buldog	potlood
landbouw	rukwind
inktpot	zoutzuur
vlugzout	oordeel
boegspriet	liksteen
soepbord	ijsbeer
rijwiel	doopvont
inktvlek	verfkwest
kikvors	richtsnoer

Spondaelijst No. VI.

voetbal	koestal
deukhoed	scheenbeen
bosmeer	zoetzuur
oorbel	doofpot
roodvonk	schoorsteen
roofdier	kastdeur
geelgroen	zeepdoos
hanglamp	hooiberg
vijftien	doelloos
tongriem	handgreep
jampot	nieuwbouw
voetrem	kielzog

